

**NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM
HADTUDOMÁNYI ÉS HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR
HAD- ÉS BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI SZAK
REPÜLŐMŰSZAKI SZAKIRÁNY
IV. ÉVFOLYAM**



XXXI. ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

**AZ AP-34B ROBOTPILOTA DIAGNOSZTIKAI
HIBABEHATÁROLÁSÁNAK ÉS KÖLTSÉGGKÍMÉLŐ
ÜZEMELTETÉSÉNEK MÓDSZERE**

KÉSZÍTETTE:

BORBÁS EMESE DÓRA

KONZULENSEK:

DR. LUDÁNYI LAJOS NYÁ. OKL. MK. ALEZREDES FŐISKOLAI TANÁR

**DR. BÉKÉSI BERTOLD OKL. MK. ALEZREDES EGYETEMI DOCENS,
SZAKCSOPORTVEZETŐ**

2012. 04. 15.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3.
I. fejezet: Boole-algebrai és mátrix aritmetikai bevezető	4.
II. fejezet: Adott rendszer diagnosztikai mátrixának kialakítása	8.
III. fejezet: Az üzembentartási stratégiák fajtái és a diagnosztikai ellenőrzés elméleti alapjai	16.
IV. fejezet: A paraméterminimalizálás folyamata és költség számítás az adott rendszerre konkrét adatokkal	22.
V. fejezet: Az elméleti módszerből levonható következtetések	33.
VI. fejezet: Az AP-34B robotpilóta leírása	34.
VII. fejezet: Diagnosztikai hibabehatárolás és költség számítás az AP-34B robotpilóta rendszerére	41.
Befejezés.....	49.
Felhasznált irodalom	50.

Bevezetés [1]

Napjainkban, mikor az infláció egyre nagyobb problémát okoz a különböző szervezetek fenntartásában, minden ország hadereje arra törekszik, hogy minél költséghatékonyabban megóvja az eszközeit, kifejezetten a légierőben, amely a legnagyobb anyagi ráfordítást igényli.

A repülőszemélyzetek elvesztése a katonai repülésben súlyos következményekkel járhat, rombolhatja a harci képességeket, de leginkább a közszellemet. Ezért a vezetésnek és a repülésbiztonsági szervezeteknek minden lehetséges módon meg kell akadályozni a repülőbalesetek bekövetkezését, amely a repülésbiztonság növelésével érhető el.

A repülésbiztonság befolyásoló tényezői, többféleképp osztályozhatók, de a legfrissebb kutatási eredményeknek megfelelően három csoportba sorolhatjuk őket. Ezek az ún. objektív tényezők - a repülőtechnika és a repülési környezet -; a szubjektív - emberi - tényezők; valamint a nem azonosított tényezők csoportja.

A repülőtechnika fejlődésével a repülésbiztonság fenntartásában a figyelem középpontjába az emberi és az objektív tényezők kerültek. Mivel a humán faktor határozza meg a repülésbiztonságot, elengedhetetlen hogy a repülési tevékenység egészét az emberi szempontok szerint közelítsük meg. Ezért ma már a legtöbb tervezéssel foglalkozó cég a repülőeszközök technikai fejlesztését is ennek az elvnek rendeli alá. A repülés biztonsága a jövőben a technikai fejlesztés mellett egyre inkább az emberi tényezőktől függ majd, mivel a balesetek 50-85 százalékában a kivizsgálás során arra a következtetésre jutnak, hogy annak bekövetkezéséért részben, vagy egészben a pilóta, vagy a földi személyzet tehető felelőssé.

Ennek okán, a földi személyzet munkájának gyorsítása, valamint gazdaságosabbá és pontosabbá tétele érdekében egy olyan üzemeltetési módszert mutatok be, amely mindezek mellett nem megy a repülésbiztonság rovására.

I. fejezet [2, 3]

Boole-algebrai és mátrix aritmetikai bevezető

Vizsgálati módszerem alapját a mátrix elmélet adja, amelyet gyakran alkalmaznak a műszaki feladatokban és a műszaki szervezési problémák megoldásában. Így én is megpróbáltam ezen elméleti módszer szerint bemutatni egy, a gyakorlatban viszonylag könnyen hasznosítható metodikát.

Mint az közismert, a mátrixok számításának a matematika és a fizika mellett, a technika különböző ágaiban is nagy szerep jut. A mechanikai rezgés, az áramkörök és a hullámterjedés elmélete is megfogalmazható a segítségükkel, s így a hasonló jellegű műszaki feladatok is megoldhatók numerikusan.

Mindezek miatt a feladat megoldásához a bináris mátrixaritmetikát választottam, melynek lényege a kettes számrendszerbeli alapokon nyugszik, ami a mátrix elemeinek értékére vonatkoztatva "0" és "1" információhordozókkal bír.

Boole-algebrai bevezető:

A bináris mátrixaritmetika alapjai egészen a Boole-algebráig és a függvényrendszerekig nyúlnak vissza. Az absztrakt algebra George Boole (1815-1864) angol matematikus általi implementációját Boole algebrának nevezzük. Az absztrakt, avagy logikai algebra tárgyát a kijelentések közötti logikai kapcsolat képezi. Nem a kijelentések tartalmával foglalkozik, hanem azzal, hogy az összetett kijelentés mikor igaz vagy hamis, ha az egyszerű kijelentések igazságértéke ismert. Ezt a kijelentéskalkulust Boole általánosan logikai változókra (igaz, hamis vagy 1,0) terjesztette ki. A Boole algebrát posztulátumok (axiómák) definiálják. A törvényeket (szabályokat) ezekből a posztulátumokból vezethetjük le. Ezek a szabályok használhatók a gyakorlatban.

1938-ban C. Shannon felismerte, hogy a Boole algebra (logikai algebra) helyesen írja le a relés logikai áramkörök működését. Így például egy villamos kapcsolóról el lehet mondani, hogy zárt vagy nyitott és, hogy emiatt az áramkörben lévő lámpa világít vagy sem. Ezen egyszerűsítések bevezetésével és numerikus formában való megjelenítése vezetett az állítások algebrai analíziséhez, függvényrendszerben való ábrázolásához.

A következő elemi Boole-függvényeket különböztetjük meg:

- negáció (tagadás) $\neg$
- diszjunkció (vagy kapcsolat) $\vee$
- konjunkció (és kapcsolat) $\wedge$
- antivalencia (kizáró vagy kapcsolat) $\oplus$
- ekvivalencia (meg egyező kapcsolat) $\sim$
- implikáció (következtetés kapcsolat) $\rightarrow$

Elemi Boole-függvények igazságtáblázata (1. táblázat):

a – állítás	0 0 1 1	képlet
b – állítás	0 0 1 1	
negáció	1 1 0 0	$\neg a$
diszjunkció	0 1 1 0	$a \vee b$
konjunkció	1 0 0 1	$a \wedge b$
antivalencia	0 1 1 0	$a \oplus b$
ekvivalencia	1 0 0 1	$a \sim b$
implikáció	1 1 0 1	$a \rightarrow b$

1. táblázat: Elemi Boole-függvények igazságtáblázata

Ha a Boole-változók $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$, akkor:

- a) $x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee \dots \vee x_n = \max. (x_1 x_2 \dots x_n)$
- b) $x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge \dots \wedge x_n = \min. (x_1 x_2 \dots x_n)$

Mivel a változók vektorok, ilyen formában is írhatók:

$$x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee \dots \vee x_n = \bigvee_{i=1}^n x_i = \vee \bar{x}$$

$$x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge \dots \wedge x_n = \bigwedge_{i=1}^n x_i = \wedge \bar{x}$$

A Boole féle függvényrendszer:

$x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ valamely bináris rendszer bemenő változói, illetve $y_1, y_2, y_3 \dots y_n$ ugyanennek a rendszernek kimenő változói, a bemenetek illetve kimenetek közti függvénykapcsolat is bináris, azaz $f_1, f_2, \dots f_m$.

Ezáltal megadható az úgynevezett Boole-függvények egyenletrendszere:

$$y_1 = f_1(x_1, x_2 \dots x_n)$$

$$y_2 = f_2(x_1, x_2 \dots x_n)$$

$$\begin{array}{ccccccc} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{array}$$

$$y_m = f_m(x_1, x_2 \dots x_n)$$

Az egyenletrendszer leírható tömörebben, egyszerűbb formában:

$$\bar{y} = \bar{f}/\bar{x}/, \text{ ahol}$$

$$\bar{y} = (y_1, y_2 \dots y_m), \text{ illetve } \bar{x} = (x_1, x_2 \dots x_n).$$

Jelen megadásnál az $\bar{f}$ függvénykapcsolat szintén vektor.

Mátrixoperátorok:

Mátrixoperátoroknak nevezzük az $\bar{x}$ és az $\bar{y}$ közötti függvénykapcsolatokat leíró mátrixokat (azaz olyan transzformáció, amely az $\bar{x}$ bemenő vektort "leképezi" $\bar{y}$ kimenő vektorra).

$$\text{Általában } \bar{y} = [B]\bar{x}, \text{ ahol } [B] - \text{mátrix-operátor.}$$

Gyakorlati szempontból alkalmazható összefüggés:

$$Y_i = \bigvee_{k=1}^n b_i^k * X_k; i = 1, 2, \dots m;$$

Ha mátrix - mátrix szorzást végzünk:

$$[Y] = [B] * [X]$$

Gyakorlati összefüggés:

$$Y_i^j = \bigvee_{k=1}^n b_i^k * X_k^j; i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, l$$

Boole- mátrixokkal végzett alpműveletek:

a) $[B] \times ([C] \times [D]) = ([B] \times [C]) \times [D]$

b) $[B] \times [C] = ([C]^T \times [B]^T)^T$

c) De Morgan-szabályok:

$$\begin{aligned} \text{pl.: } abc \vee \bar{a}d \vee \bar{b}\bar{c} &= \neg(\neg(abc) \wedge \neg(\bar{a}d) \wedge \neg(\bar{b}\bar{c})) = \\ &= \neg((\bar{a} \vee \bar{b} \vee \bar{c}) \wedge (a \vee \bar{d}) \wedge (b \wedge c)) \end{aligned}$$

$$Y_k^j = \bigvee_k b_i^k * X_k^j = \neg \bigwedge_k \neg(b_i^k * X_k^j) = \neg \bigwedge_k (\bar{b}_i^k * \bar{X}_k^j)$$

Szintézis mátrixokkal:

Mátrixnak nevezzük m, n számú mennyiségek m sorba és n oszlopba, téglalapalakba elrendezett rendszerét.

Jelölésük:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} = /a/ = /a_j/ = [A]$$

Az /a/ szimbólum a mennyiségek teljes elrendezését helyettesíti. Az elrendezésben szereplő mennyiségeket a mátrix elemeinek nevezzük. A téglalap alakú m sorból és n oszlopból álló mátrixot (m,n)-ed rendűnek, és ha m=n négyzetesnek, vagy kvadratikusnak nevezzük.

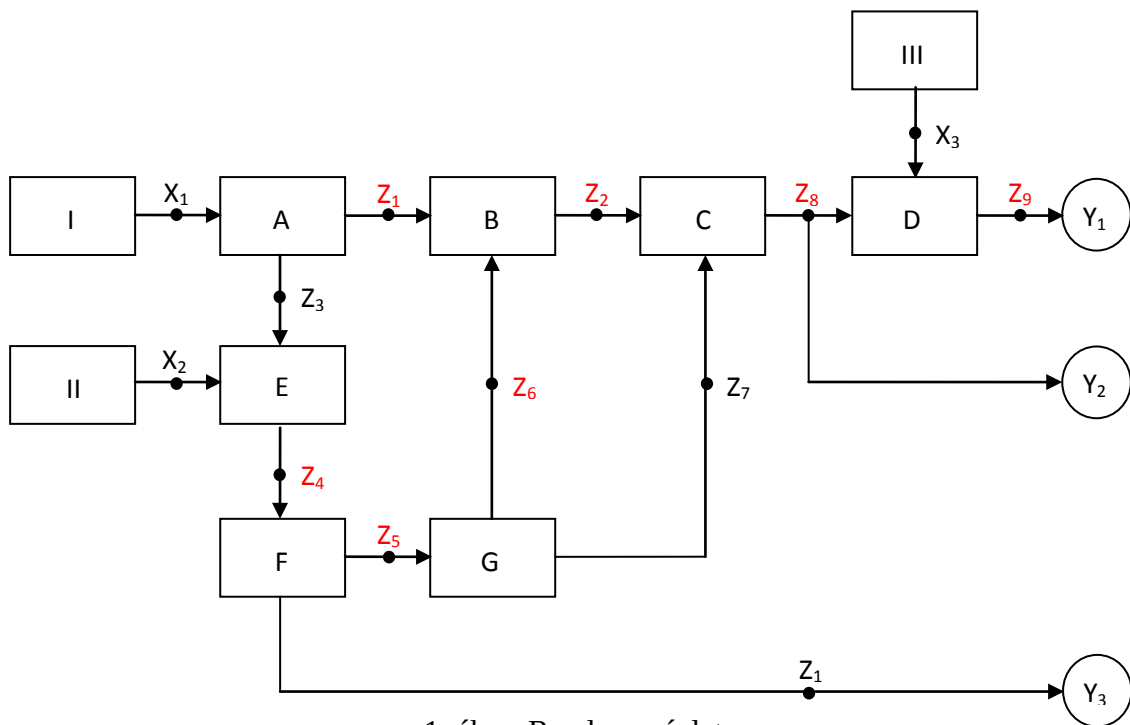
II. fejezet [4, 5]

Adott rendszer diagnosztikai mátrixának kialakítása

Ezen bevezető után áttérek az általam történő alkalmazásra. Mint köztudott, a repülőgépeken nem egymástól elszigetelt rendszerekkel, alrendszerekkel találkozhatunk, hanem bonyolult, szorosan együttműködő, egymást állandóan kiszolgáló hálózatokkal.

Nekem szintén egy ilyen együttműködő rendszeren kell egy optimális - egy blokk mélységig történő - hibabehatárolást illetve üzemképesség ellenőrzést kidolgoznom. A rendszer blokk mélységig történő elemzéséhez a kiindulási alapot pedig a blokk- és rendszervázlatok segítségével lehet megteremteni.

Az 1. ábra szintén egy ilyen, blokkokból felépülő rendszervázlatot mutat be:



1. ábra: Rendszervázlat

Ahol: A, B, ... G – a vizsgált rendszer blokkjai

I, II, III – a stimuláló jeleket előállító berendezések

Z₁, Z₂, ... , Z₁₁ – a blokkok együttműködési paraméterei

Y₁, Y₂, Y₃ – a kimenetek

Megvizsgálva a blokk-paraméterek kapcsolatát, látható, hogy minden blokkot és paramétert máshogy jelöltem. Alapvetően szét kell választani a rendszerbe kapcsolt berendezések által szimulált jeleket (X_1, X_2, X_3) és a berendezések együttműködési paramétereit ($Z_1, Z_2, \dots, Z_{10}$), vagyis a köztük kapcsolatot jelentő paramétereket.

Első lépésként a "Kimenő paraméter – Blokk Mátrixot" kell megalkotni (2. táblázat):

$$\text{KBM} = [Q_1] =$$

X_1	X_2	X_3	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}	
1													I
	1												II
		1											III
			1		1								A
				1									B
										1			C
											1		D
						1							E
							1					1	F
								1	1				G
													Y_1
													Y_2
													Y_3

2. táblázat: Kimenő paraméter - Blokk Mátrix

Ennek a mátrixnak tartalmaznia kell a berendezések megnevezését (vízszintes sor) és a paraméterek megnevezését (függőleges oszlop). Mint a mátrix elnevezése is mutatja, a kimenő paramétereket kell megvizsgálnom. A berendezések sorába – mivel a mátrix bináris – és az adott kimenő paraméter oszlopának koordináta pontjaira a kimenetnek megfelelően 1-et kell írni, míg a többi koordináta pontra, mivel ott nincs kimenet, 0-át kell írni.

Az így kapott KBM megmutatja, hogy mely blokkokból, hány jel lép ki és melyek azok a blokkok, ahonnan nincs jelkilépés. Ezek a blokkok az úgynevezett záró blokkok.

Megjegyzés: A mátrix első ránézésre, rögtön információt szolgáltat arról, hogy mely berendezések voltak a záró blokkok, hiszen ezek sora és oszlopai üresek, mutatván azt, hogy ide csak jelbelépés történik.

Második lépésként a "Bemenőjel – Blokk Mátrixot" kell felírni (3. táblázat):

$$\text{BBM} = [\text{Q}_2] =$$

	X ₁	X ₂	X ₃	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀
I													
II													
III													
A	1												
B				1					1				
C					1					1			
D			1								1		
E		1				1							
F							1						
G								1					
Y ₁												1	
Y ₂											1		
Y ₃													1

3. táblázat: Bemenőjel – Blokk Mátrix

Az ilyen mátrixoknak szintén tartalmaznia kell a berendezések és paraméterek megnevezését, hasonlóan az előbb felírt KBM-hez. Ezután a berendezések sorába – mivel a mátrix bináris – azokra a koordináta pontokra kell 1-et írni, amelyek az adott berendezéshez tartozó bemenő jelet adják. A többi koordináta ponton, mivel nincs bemenőjel, 0-át kell írni.

Az így létrehozott BBM információt szolgáltat arról, hogy melyek azok a blokkok, melyekbe a generált jelek bejutnak.

A rendelkezésre álló $BBM^T = [Q_2]^T$ és $KBM = [Q_1]$ mátrixok Boole-algebra szerinti szorzásával megkapom a vizsgált rendszer bemenő és kimenő jelei közötti kapcsolatot leíró incidencia (kapcsolódási) mátrixot, a $[Q_R]$ -et (4. táblázat), ahol:

$$[Q_R] = [Q_2]^T \times [Q_1]$$

	Bemenő jelek													
		X ₁	X ₂	X ₃	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀
	X ₁													
	X ₂													
	X ₃													
Kimenő jelek	Z ₁	1												
	Z ₂				1					1				
	Z ₃	1												
	Z ₄		1				1							
	Z ₅							1						
	Z ₆								1					
	Z ₇								1					
	Z ₈					1					1			
	Z ₉			1								1		
	Z ₁₀								1					

4. táblázat: Incidencia mátrix

„A $[Q_R]$ mátrix oszlopvektorai a bemenő jeleknek, a sorvektorai a kimenő jeleknek felelnek meg. A számunkra kapcsolódási információt nem tartalmazó oszlop és sorvektorokat /tehát, azokat, melyek csak 0-át tartalmaznak/ kihúzhatjuk a $[Q_R]$ -ből, ezáltal csökkenthető a $[Q_R]$ mérete.

Mivel a $[Q_R]$ - mátrix egyértelműen megadja a bemenő és kimenő jelek közti kapcsolódásokat, a mátrixban lévő 1-ek és 0-ák segítségével meg kell állapítani az információ haladás útját az egész rendszerben.

Ha a vizsgált rendszer üzemképes, az információ haladás a bemenetek felől a kimenetekig teljes, ellenkező esetben az üzemképtelen blokkoktól függően az információ kapcsolatban – szakadás jön létre.

Ehhez a megállapításhoz el kell végezni a $[Q_R]$ - mátrix vizsgálatát a következő módszer segítségével:

A $[Q_R]$ - mátrix X_1 – bemenőjel oszlopvektorára kapcsolok olyan vizsgáló vektort, melynél a vizsgált bemenetre 1 kerül, a többi bemenetre 0. Ekkor a $[Q_R]$ - kimenetén (feltéve, hogy a $[Q_R]$ üzemképes rendszert határoz meg) az informatív kapcsolódásnak megfelelő kimenőjel – vektor jelenik meg, melyet visszacsatolva (helyérték helyesen) a bemenetre a $[Q_R]$ - kimenetén ismét kimenőjel – vektor jelenik meg, melyet ugyancsak visszacsatolva a bemenetre kapcsolok, stb., végezetül megkapom a különböző bemenővektorokra adott válaszijel vektorokat. Az egyes bemenőjel-vektor - $[Q_R]$ -mátrix – kimenőjelvektor-visszacsatolás – ciklusokat taktusoknak nevezzük. Az egyes berendezésekre vonatkozó ciklusokat akkor tekintjük befejezettnek, ha a visszacsatolást követően a bemenetekre csak 0 értékek kerülnek. Ekkor új bemenőjel oszlopvektort választok ki és az előzőek alapján tovább folytatom a rendszer vizsgálatát egészen addig, amíg az utolsó berendezést vizsgáló bemenőjel-vektor csak 0 értéket tartalmaz.

Az egyes berendezéseknek megfelelő kimenőjel-vektorokat taktusonként binárisan összegezem, ezáltal megkapom azokat a kimenőjel-vektorokat, melyekre a vizsgált berendezés esetleges meghibásodása hatással van.

A tárgyalt vizsgálati módszer leírható a következő összefüggések segítségével:

$$[Y_v] = [Q_R] * (\bar{X}_v \vee \bar{Y}_v) \quad (1)$$

ahol $v = [\frac{1}{m}]$ - a taktusok száma

$\bar{X}_v$ - a vizsgáló bemenőjel-vektorok

$\bar{Y}_v$ - a kimeneti és visszacsatolt válaszijel-vektorok

$\vee$ - a Boole összegzés jele [6]

Az előzőekben tárgyalt módszer megvalósítása az 5. táblázatban látható.

	X ₁	X ₂	X ₃	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	1	1	2	3	1	2	1	2	3	4	5	1	2	3	4
Z ₁	1											1	1																											
Z ₂				1						1		2		1										1				1							1					
Z ₃	1											3	1																								1			
Z ₄		1				1						4		1						1																				
Z ₅							1					5			1						1													1						
Z ₆								1				6				1						1												1			1			
Z ₇								1				7				1						1												1						
Z ₈				1						1		8			1		1						1	1				1		1					1	1				
Z ₉			1								1	9			1		1	1					1	1	1			1		1				1	1		1			
Z ₁₀							1					10			1							1											1							
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8																													
S1	1																																							
2				1		1																																		
3					1		1																																	
4								1																																
5									1																															
6					1																																			
7																																								
S1		1																																						
2							1																																	
3								1																																
4																																								
5					1																																			
6																																								
S1			1																																					
S1				1																																				
2					1																																			
3																																								
S1					1																																			
2																																								
S1							1																																	
2																																								
3																																								
4																																								
5																																								
S1								1																																
2																																								
3																																								
4																																								

5. táblázat: Adott bemenőjel vektorra adott kimenőjel vektorok

Ha ezt követően a $[Q_R]$ - ben lévő 1-ek helyére a bemenőjel – kimenőjel vektorkapcsolatnak megfelelő berendezés jelöléseket írom, kapok egy úgynevezett berendezés orientált $[Q_R]_B$ - mátrixot, azaz (6. táblázat):

$$[Q_R]_B =$$

	X ₁	X ₂	X ₃	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈
Z ₁	A										
Z ₂				B					B		
Z ₃	A										
Z ₄		E				E					
Z ₅							F				
Z ₆								G			
Z ₇								G			
Z ₈					C					C	
Z ₉			D								D
Z ₁₀							F				

6. táblázat: $[Q_R]_B$ - mátrix

A taktusonkénti bináris összegzés elvégezhető a következő összefüggés segítségével:

$$\bigvee_{\alpha=1}^n \bigvee_{v=1}^m \bar{Y}(\alpha) = [BPM]^T \quad (2)$$

ahol: $\alpha = [\frac{1}{n}]$ - a rendszerben lévő berendezések száma

$[BPM]^T$ - az úgynevezett blokk-paraméter mátrix transzponáltja,

amely megadja, hogy valamely berendezés (blokk)

meghibásodása mely paraméterekre van hatással.

$\bar{Y}(\alpha)$ - a $[Q_R]_B$ - mátrix válaszjel vektorai a vizsgált

berendezések függvényében

Tehát végezetül a módszer segítségével kaptam egy olyan $[BPM]^T$ - mátrixot (7. táblázat), amely a következő alakban adható meg:

$$[BPM]^T =$$

	A	B	C	D	E	F	G
Z ₁	1						
Z ₂	1	1			1	1	1
Z ₃	1						
Z ₄	1				1		
Z ₅	1				1	1	
Z ₆	1				1	1	1
Z ₇	1				1	1	1
Z ₈	1	1	1		1	1	1
Z ₉	1	1	1	1	1	1	1
Z ₁₀	1				1	1	

7. táblázat: $[BPM]$ mátrix transzponáltja

„A mátrix elemzése során a következők állapíthatók meg:

1. Ha az oszlopvektorokat vizsgáljuk, kiderül, hogy az A, B, ..., G berendezések meghibásodásai esetén a meghibásodás mely paraméterekre van hatással, azaz azokra a paraméterekre, ahol a vektorban 1-ek vannak.
2. Ha pedig a sorvektorokat vizsgáljuk láthatjuk, hogy valamely paraméterre a rendszer mely berendezései vannak hatással. (Értelemszerűen azok, amelyekben a vektorban 1-ek találhatók.)

Ha a $[BPM]^T$ soraiban illetve oszlopaiban lévő 1-et összegezem, a szummázott értékek bizonyos fokig sorrendiséget is megadnak az üzemképesség ellenőrzésénél, illetve a diagnosztikánál is, ez azonban nem teljes.

Felmerül a kérdés, milyen ”biztonsággal” hajtható végre a $[BPM]^T$ alapján az üzemképesség ellenőrzés, illetve a diagnosztika.”[7]

III. fejezet [4, 8]

Az üzembentartási stratégiák fajtái és a diagnosztikai ellenőrzés elméleti alapjai

Üzembentartási feladatoknak nevezzük a biztonságos repülést mindenekfelett fenntartandó a műszaki dokumentációk, technológiák, gyári előírások által kötelezően elvégzendő ellenőrző tevékenységeket, melyeket repülőgépek rendszerein végeznek.

Napjainkban a különböző fedélzeti berendezések üzembentartási stratégiái a funkcióktól, a bonyolultságtól és a konstrukciójuktól függően különbözőek lehetnek:

- az első meghibásodásig tartó: amikor mindennemű karbantartó és megelőző tevékenységek nélkül üzemeltetjük a repülő eszközt, és ha valamelyik alkatrésze meghibásodik, akkor az adott alkatrészt kicseréljük egy újra. (Napjainkban ezt csak háborús körülmények között alkalmazzák.)
- a kötött üzemidő szerinti: amikor a repülő eszközt meghatározott üzemidő után az üzemeltetésből kivonják, és az időszakos javító osztályon (hangár) technológia alapján meghatározott mélységű ellenőrzéseket végeznek, majd visszaszerelik a berendezéseket a repülőgépbe.
- a megbízhatósági szint szerinti: amikor az üzemeltető ellenőrzés nélkül az üzemidő függvényében következtetni tud a repülőeszköz különböző üzemképességi mutatóira, amelyek a gyár adatbázisában vannak, és amelyek alapján a gyár időben jelzi a szükséges megelőző tevékenységek idejét és sorrendjét az üzemeltető számára.
- az állapot szerinti: amikor meghatározott időközönként állapotfelügyeleti ellenőrzéseket kell végrehajtani a repülő eszközön, és ezek értékeit összehasonlítva a megadott üzembentartási paraméter limitekkel, az állapotfelügyeleti algoritmus szerint az üzemeltető elvégzi a megfelelő megelőző munkálatokat.
- és a diagnosztikai ellenőrzések szerinti: amikor egy kombinált diagnosztikai mátrix alapján az üzemeltető meghatározza, hogy melyik blokk hibásodott meg és csak az adott blokkot szereli ki a hiba elhárítása érdekében.

Lényeges szempont, hogy bármely stratégiát is alkalmazzák, az üzemeltetés során az ellenőrzött rendszer állapotára vonatkozó információ, illetve a mérések alapján történő döntések helyessége nagymértékben függ az ellenőrzések minőségétől, megbízhatóságától.

Az ellenőrzés megbízhatóságának mennyiségi paramétere a D valószínűségi érték, amely annak a valószínűsége, hogy a mérés eredménye helyesen tükrözi az ellenőrzött rendszer állapotát.

$$D = 1 - (\alpha + \beta) \quad (3)$$

ahol: $\alpha = P_{vm}$ – a valótlan meghibásodás valószínűsége, más néven elsőfajú hiba.

$\beta = P_{fm}$ – az ellenőrzés során a felderítetlen meghibásodás valószínűsége, úgynevezett másodfajú hiba.

Ezek alapja a Bayes - féle határozatlansági elv, amely a radartechnikából származik és lényege, hogy a zajjal terhelt jeleket négy csoportba osztja:

- ideális állapot 1. : amikor a műszer jelez, és valós célt mutat
- vaklárma/valótlan meghibásodás: amikor a műszer jelez, de nincs valós cél
- felderítetlen meghibásodás: amikor a műszer nem jelez, de van cél
- ideális állapot 2. : amikor a műszer nem jelez, és nincs valós cél

Az elsőfajú és másodfajú hiba létrejöttének okaiként megkülönböztetjük a mérés módszerbeli (metodikai) megbízhatóságát (D_{MO}) és a műszerek megbízhatóságát ($D_{MŰ}$), azaz

$$D = f(D_{MO}, D_{MŰ}) \quad (4)$$

A műszerek megbízhatósága a mérés műszerparkjától, annak minőségétől függ, a metodikai megbízhatóság pedig az ellenőrzés mélységétől és az ellenőrzött rendszer műszaki megbízhatóságától függ.

Tehát: $D_{M0} = f(\rho ; R_T)$

ahol: ρ - az ellenőrzés mélysége

R_T - a teljes rendszer hibátlan működésének valószínűsége

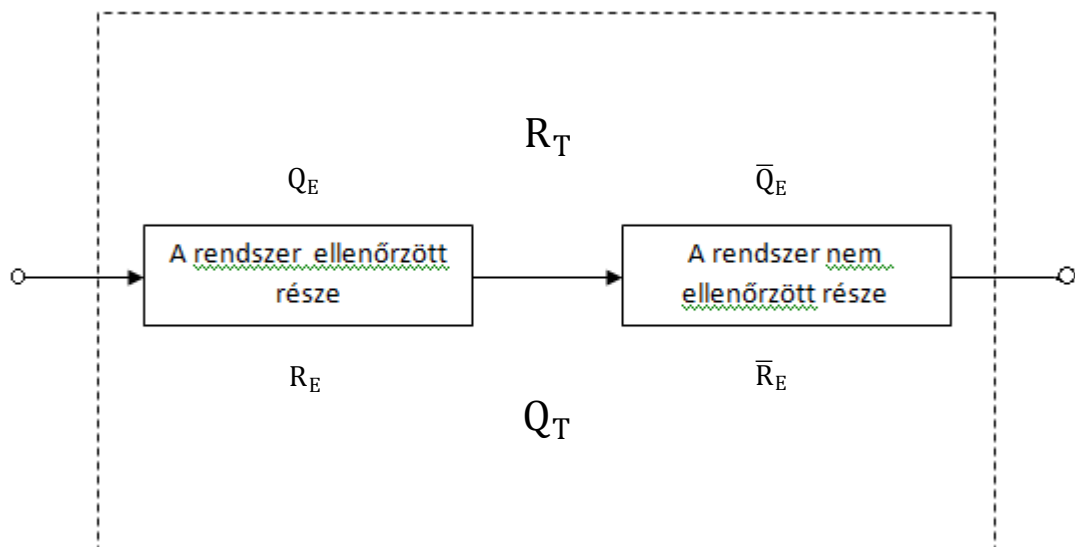
A gyakorlatban a rendszer összes paraméterét lehetetlen megmérni, melyek ismerete teljességgel megadja a rendszer állapotát. A paramétereknek csak bizonyos hányada mérhető a kivezetett ellenőrző csatlakozásokon. A szakember azonban a rendelkezésre álló paraméterek megmérése után képes dönteni a rendszer állapotáról.

Rendszerint az ellenőrzés mélysége (ρ) az ellenőrzött rész és a teljes rendszer meghibásodása valószínűségeinek a hányadosa, azaz

$$\rho = \frac{Q_E}{Q_T} \quad (5)$$

ahol: Q_E - az ellenőrzött rész meghibásodásának valószínűsége

Q_T - a teljes rendszer meghibásodásának valószínűsége (2. ábra)



2. ábra: A különböző valószínűségek összefüggésének szemléltetése

A módszertani (metodikai) megbízhatóság meghatározásához feltételezzük, hogy a rendelkezésre álló műszereink ideálisak, azaz:

$$D_{M\check{U}} = 1$$

Ekkor két egymástól független esemény bekövetkezésének feltételes (együttes) valószínűsége, azaz az ellenőrzött rész üzemképességének és a nem ellenőrzött rész üzemképtelenségének valószínűsége:

$$\beta_{MO} = R_E * \bar{Q}_E \quad (6)$$

Mivel a $D_{M\bar{U}} = 1$ feltétel az $\alpha_{MO} = 0$ megszorítást is jelenti, így alkalmazva a (3) és (6) képleteket, kapjuk:

$$D_{MO} = 1 - (\alpha_{MO} + \beta_{MO}) = 1 - R_E * \bar{Q}_E \quad (7)$$

Ezt az összefüggést tovább részletezve az alábbi egyenletet kapjuk:

$$\begin{aligned} D_{MO} &= (Q_E + R_E) - R_E * \bar{Q}_E = (\rho * Q_T + R_E) - R_E * \bar{Q}_E = \\ &= \rho * Q_T + R_E * (1 - \bar{Q}_E) = \rho * Q_T + R_T \end{aligned} \quad (8)$$

Ha az ellenőrzés mélysége teljes, azaz $\rho = 1$, akkor a metodikai megbízhatóság szintén 100%-os:

$$D_{MO} = Q_T + R_T = 1 \quad (9)$$

Ellenkező esetben, ha nincs egyetlen paraméter sem ellenőrizve, akkor $\rho = 0$, azaz:

$$D_{MO} = R_T \quad (10)$$

A (10) összefüggés azt jelenti, hogy a rendszer állapotára ellenőrzés nélkül is következtethetünk, azaz a rendszer valamely t -időpontban üzemképes állapotban van $R_T(t)$ valószínűséggel.

Kiegészítésképpen meg kell említenünk, hogy minden összetett (soros-párhuzamos) rendszer felbontható párhuzamosan kapcsolt soros alrendszerekre.

Ha a vizsgált rendszer a $\lambda_T = \text{const.}$ időintervallumban van ellenőrizve a $[\text{BPM}]^T$ segítségével, akkor az ellenőrzés megbízhatóságára vonatkozó összefüggések alapján a következő megállapításokra jutok:

- a) A teljes rendszer üzemképességének valószínűsége valamely „t” idő elteltével, sorosan kapcsolt blokkokra:

$$R_T(t) = e^{(-\lambda_T \cdot t)} = e^{(-t \sum_{a=1}^m \lambda_a)} \quad (11)$$

ahol: $\lambda_T = \sum \lambda_a$ - a teljes rendszer meghibásodási intenzitása

m – a rendszerben lévő blokkok száma

- b) A teljes rendszer meghibásodásának valószínűsége:

$$Q_T(t) = 1 - R_T(t) \quad (12)$$

- c) A $[\text{BPM}]^T$ által ellenőrzött alrendszer meghibásodásának valószínűsége:

$$Q_E(t) = 1 - \prod_{j=1}^k R_j(t) = 1 - e^{(-t \sum_{j=1}^k \lambda_j)} \quad (13)$$

ahol: $R_j(t)$ - a $[\text{BPM}]^T$ által ellenőrzött alrendszer j-ik blokkja üzemképességének valószínűsége,

λ_j - a j-ik blokk meghibásodási intenzitása,

k - a $[\text{BPM}]^T$ által ellenőrzött alrendszerben lévő blokkok száma.

Tehát a rendelkezésre álló meghibásodási intenzitások alapján:

$$1. \quad \bar{\lambda}_j - \text{vektort képezek, ahol } \bar{\lambda}_j = \begin{bmatrix} \lambda_A \\ \lambda_B \\ \vdots \\ \lambda_G \end{bmatrix}$$

2. Végrehajtom a $[\text{BPM}]^T \times \bar{\lambda}_j$ műveletet, azaz:

$$[\text{BPM}]^T \times \begin{bmatrix} \lambda_A \\ \lambda_B \\ \vdots \\ \lambda_G \end{bmatrix} = \overline{\sum \lambda_j(z_i)} \quad (14)$$

3. A paraméterfüggő $\sum_{j=1}^k \bar{\lambda}_j(z_i)$ értékeket behelyettesítve a (13) összefüggésbe és megadva a t – vizsgálati időpontot, különböző $Q_E(z_i)$ értékeket kapok.

4. Felhasználva a (11) és a (12) összefüggéseket, végezetül megkapom a $[BPM]^T$ által ellenőrzött alrendszerekre vonatkozó mérések megbízhatóságát:

$$D(z_i) = \rho * Q_T + R_T = \frac{Q_E(z_i)}{Q_T} * Q_T + R_T = Q_E(z_i) + R_T =$$

$$= 1 - e^{(-t \sum \lambda_j(z_i))} + e^{(-t \sum_{a=1}^m \lambda_a)} \quad (15)$$

ahol: $\sum \lambda_j(z_i)$ - vektor, amely megadja, hogy a $[BPM]^T$ által vizsgált alrendszer z_i - ik paramétere az alrendszer milyen meghibásodási intenzitása mellett mérhető.

$D(z_i)$ - valószínűség, mely megadja, hogy a $[BPM]^T$ által vizsgált alrendszer z_i -ik paraméterének mérése milyen valószínűséggel tükrözi az ellenőrzött rendszer valós állapotát.

IV. fejezet [9]

A paraméterminimalizálás folyamata és költség számítás az adott rendszerre konkrét adatokkal

Nyilvánvaló, hogy minél nagyobb a $D(z_i)$ értéke, annál realisabb adatokat kapok a rendszer valós állapotáról. Ez felveti a $[BPM]^T$ által végrehajtandó ellenőrzések gazdaságosságát is. Ugyanis, amennyiben az ellenőrzés mélysége kicsi, vagy $\rho = 0$ (tehát nem mérek egyetlen paramétert sem), az előzőek alapján $D_{M0} = R_T$, így a paraméter-mérések költségei (energiaköltség, amortizációk, munkadíjak, stb.) szintén nullák. Ez azonban egy rosszul értelmezett takarékos üzem, hiszen nem állnak rendelkezésre adatok egy bekövetkező meghibásodásról, melynek ugyanakkor jóval nagyobb költségkihatása lesz egy diagnosztika-berendezés javítás – szerelés - ellenőrzés munkaciklus miatt.

Legyen egy paraméter mérésének költsége C_1 . Ekkor figyelembe véve az ellenőrzés megbízhatóságát is, az üzemképesség ellenőrzésének költsége:

$$K_1(D) = \frac{C_1}{D} = \frac{C_1}{\rho * Q_T + R_T} \quad (16)$$

$$\text{Amennyiben} \quad - \rho = 0, \text{ akkor } K_1(D) = K_1(R_T) = \frac{C_1}{R_T} \quad (17)$$

$$- \rho = 1, \text{ akkor } K_1(D) = \frac{C_1}{Q_T + R_T} = C_1 \quad (18)$$

A (17) és (18) összefüggések is bizonyítják, hogy abban az esetben, ha nem mérünk egyetlen paramétert sem, a K_1 költség R_T értéke miatt nagyobb lesz, mint egy paraméter C_1 költsége – mivel $R_T < 1$.

Ugyanakkor, ha a mérés teljes mélységű, azaz $\rho = 100\%$, és ez megvalósítható egyetlen paramétervektor megmérésével, akkor a K_1 költség azonos lesz ennek az egy paraméter mérésének C_1 költségével, amint az a mintapéldában szereplő z_9 paraméterre is igaz, hiszen annak értéke a rendszer összes blokkjától függ.

Ebből egyenesen következik a $[BPM]^T$ által végrehajtott paraméter mérések sorrendje, miszerint először a legnagyobb $D(z_i)$ értékkel kezdem, majd a soron következő kisebb $D(z_i)$ - vel folytatom, stb., ezáltal biztosítom a lehető legnagyobb mérési megbízhatóságot azzal a legkisebb költséggel, amivel ez a megbízhatósági szint még elérhető.

Mivel a legnagyobb $D(z_i)$ – kel rendelkező paraméterek mérései biztosítják a β (másodfajú hiba, a felderítetlen meghibásodás valószínűsége) kis értékét, ezáltal a meghibásodás esetén a legnagyobb $D(z_i)$ és esetleg a soron következő kisebb $D(z_i)$ már egyértelműen jelzi az esetleges meghibásodást.

Ekkor következik a $[BPM]^T$ által végrehajtandó diagnosztika. A $[BPM]^T$ elemzése során látható, hogy a mátrixban lévő „1”-ek (ha a mátrixot oszlopként vizsgálom) megadják, hogy valamely blokk meghibásodása mely paraméterekre van hatással.

Ez a hatás gyakorlatilag azt jelenti, hogy ha meghibásodott valamelyik blokk, azok a paraméterek, melyekre a meghibásodott blokk oszlopának „1”-ei vonatkoznak, túrésmezőn kívülre kerülnek. Ezt az információt természetesen a paraméterek méréseivel lehet megkapni, vagy úgy, hogy az érintett paramétereket sorban megmérem, vagy úgy, hogy egyszerre (párhuzamosan) hajtom végre a méréseket. Mindkét esetben a kapott $D_{M0} = 1$, mivel a $\rho = 100\%$. Így a diagnosztika költsége csak a paraméterek mérési költségeitől függ a behatárolás során.

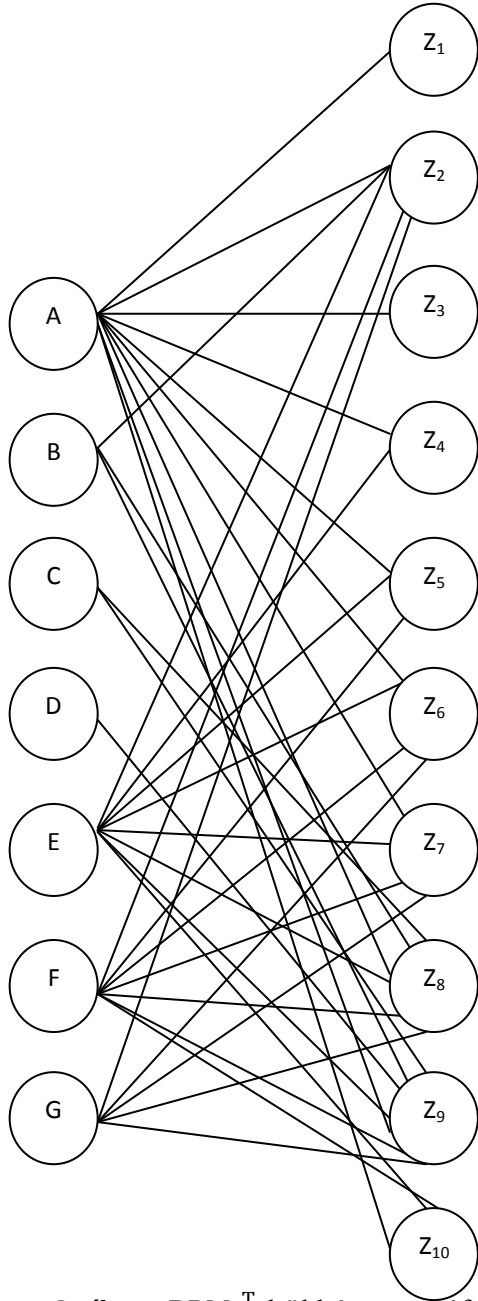
Mivel C_1 egy paraméter mérési költsége és a behatároláshoz n - paraméter mérése szükséges, így a diagnosztika K_2 költsége:

$$K_2(D) = n * C_1 * D = n * C_1 \quad (19)$$

Nyilvánvaló, hogy a K_2 költséget az n -paraméter mérések számának csökkentésével lehet minimalizálni.

Tehát a kérdés az, hogy hogyan lehet a $[BPM]^T$ méretét úgy csökkenteni, hogy a diagnosztikához szükséges paraméter-mérések száma a lehető legkevesebb legyen, ugyanakkor egyértelmű maradjon a hibabehatárolás.

Ehhez a $[BPM]^T$ alapján fel kell rajzolni egy irányítatlan gráfot, melynél a gráfcsúcsokkal a blokkokat illetve a paramétereket, a gráfcsúcsokat összekötő vonalakkal pedig a $[BPM]^T$ megfelelő „1”-eit ábrázoljuk (3. ábra).



3. ábra: $[BPM]^T$ -ből képzett gráf

$$[\lambda_A] = \sum_{j=1}^1 \lambda_j$$

$$[\lambda_A + \lambda_B + \lambda_E + \lambda_F + \lambda_G] = \sum_{j=1}^5 \lambda_j$$

$$[\lambda_A] = \sum_{j=1}^1 \lambda_j$$

$$[\lambda_A + \lambda_E] = \sum_{j=1}^2 \lambda_j$$

$$[\lambda_A + \lambda_E + \lambda_F] = \sum_{j=1}^3 \lambda_j$$

$$[\lambda_A + \lambda_E + \lambda_F + \lambda_G] = \sum_{j=1}^4 \lambda_j$$

$$[\lambda_A + \lambda_E + \lambda_F + \lambda_G] = \sum_{j=1}^4 \lambda_j$$

$$[\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_E + \lambda_F + \lambda_G] = \sum_{j=1}^6 \lambda_j$$

$$[\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D + \lambda_E + \lambda_F + \lambda_G] = \sum_{j=1}^7 \lambda_j$$

$$[\lambda_A + \lambda_E + \lambda_F] = \sum_{j=1}^3 \lambda_j$$

A gráf paramétercsúcsai mellé beírtam és összegeztem a paraméterekbe az egyes blokkokból befutó hurok alapján a meghibásodások intenzitását. Az összegzés alapján meg kell jelölni az egyforma $\sum_{j=1}^k \lambda_j$ - kel rendelkező paramétereket, majd az azonos értékűeket (egy paramétert megtartva) „kihúzni” a gráfból.

Az így végrehajtott paraméter minimalizálást két feltétel betartása mellett lehet végrehajtani:

- 1) a minimalizálás során blokk nem tűnhet el,
- 2) a minimalizált mátrixnak egyértelműnek kell lennie, azaz meg kell akadályozni az esetleges redundanciákat.

A fenti feltételekkel végrehajtott paraméter csökkentés után kapunk egy minimalizált $[BPM]^T$ – et, amely költségcsökkentést is eredményez, azaz:

$$\Delta K_2 = n_k * C_1 - n_m * C_1 = \Delta n * C_1 \quad (20)$$

ahol: n_k - a kezdeti paraméter érték,

n_m - a minimalizálást követő paraméter érték,

ΔK_2 - a minimalizálás során bekövetkezett költségcsökkenés.

Tehát a $[BPM]^T$ által végrehajtott üzemképesség ellenőrzés és diagnosztika összes költsége:

$$K_{BPM} = K_1 + K_2 = \frac{C_1}{\rho * Q_T + R_T} + n_m * C_1 \quad (21)$$

A K_{BPM} két szélső értéket vehet fel:

$$- \text{ ha } \rho = 0, \text{ akkor } K_{BPM} = \frac{C_1}{R_T} + n_m * C_1 = C_1 * \left(\frac{1}{R_T} + n_m \right) \quad (22)$$

$$- \text{ ha } \rho = 100\%, \text{ akkor } K_{BPM} = C_1 + n_m * C_1 = C_1 * (1 + n_m) \quad (23)$$

Ha tehát biztosítani lehet a $\rho = 100\%$ - os feltételt, az összköltség a paraméter mérések költségére korlátozódik az üzemidőtől függetlenül.

Azonban ha $\rho = 0$, akkor a $\frac{C_1}{R_T}$ összetevő miatt már a rendszer üzemideje is meghatározó. Ezért az összköltség csökkentése érdekében a rendszer ellenőrzését célszerű két szakaszban végezni.

Elsőnek üzemképesség ellenőrzést kell végezni diagnosztikai ellenőrzés nélkül, a megadott üzemképességi mutató által meghatározott ideig, azaz, ha $R_T \geq 0,8$, akkor:

$$t_1 \leq \frac{\ln 0,8}{\lambda_T} - \text{ideig.} \quad (24)$$

ahol: R_T - a rendszer számára megadott üzemképességi mutató.

Ekkor a költség:

$$K_1 \leq \frac{C_1}{R_T} \leq \frac{C_1}{e^{(-\lambda_T * t_1)}} \quad (25)$$

A második szakaszban, mivel az üzemidő $t > t_1$, ezáltal az $R_T < 0,8$, így már az üzemképesség ellenőrzést követően a diagnosztikai ellenőrzést kell beiktatni $K_2 = n_m * C_1$ költséggel.

Az összköltség $t > t_1$ intervallumra:

$$K_{BPM} = K_1 + K_2 = \frac{C_1}{e^{(-\lambda_T * t_1)}} + n_m * C_1 = C_1 * \left(\frac{1}{R_T(t_1)} \right) + n_m \quad (26)$$

Ezek után az 1. ábra rendszerét konkrét adatokkal elemezve a következőket kapom:

1. Ha a vizsgált rendszer blokkjainak meghibásodási intenzitásai:

$$\begin{aligned} \lambda_A &= 1,2 * 10^{-4} \frac{1}{h}; & \lambda_B &= 0,2 * 10^{-4} \frac{1}{h}; & \lambda_C &= 1 * 10^{-4} \frac{1}{h}; \\ \lambda_D &= 1,4 * 10^{-4} \frac{1}{h}; & \lambda_E &= 0,7 * 10^{-4} \frac{1}{h}; & \lambda_F &= 2,2 * 10^{-4} \frac{1}{h}; \\ \lambda_G &= 0,12 * 10^{-4} \frac{1}{h}; \end{aligned}$$

$$\lambda_T = \sum_{a=1}^7 \lambda_a = \lambda_A + \lambda_B + \dots + \lambda_G = 6,82 * 10^{-4} \frac{1}{h}$$

2. A teljes rendszer üzemképességének valószínűsége $t < t_1$ intervallumban, ahol $t = 100$ óra:

$$R_T(t) = e^{(-\lambda_T * t)} = e^{(-0,0682)} = 0,934$$

3. A teljes rendszer meghibásodásának valószínűsége:

$$Q_T(t) = 1 - R_T(t) = 1 - 0,934 = 0,066$$

4. A vizsgált rendszer blokk-paraméter mátrixa (8. táblázat):

(a [KBM] – [BPM] - szorzások, vizsgáló ciklusok végrehajtása után)

[BPM] =

	z ₁	z ₂	z ₃	z ₄	z ₅	z ₆	z ₇	z ₈	z ₉	z ₁₀
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B		1						1	1	
C								1	1	
D									1	
E		1		1	1	1	1	1	1	1
F		1			1	1	1	1	1	1
G		1				1	1	1	1	

8. táblázat: A vizsgált rendszer blokk-paraméter mátrixa

ahol $n_k = 10$.

5. A paraméterfüggő $\overline{\sum \lambda_j(z_i)}$ - vektor meghatározása (9. táblázat):

$$[BPM]^T \times (\bar{\lambda}_j * 10^{-4}) = \overline{\sum \lambda_j(z_i)} * 10^{-4}$$

	z ₁	z ₂	z ₃	z ₄	z ₅	z ₆	z ₇	z ₈	z ₉	z ₁₀
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B		1						1	1	
C								1	1	
D									1	
E		1		1	1	1	1	1	1	1
F		1			1	1	1	1	1	1
G		1				1	1	1	1	

 $\times$

1,2	A
0,2	B
1	C
1,4	D
0,7	E
2,2	F
0,12	G

 $*10^{-4} =$

1,2	z ₁
4,42	z ₂
1,2	z ₃
1,9	z ₄
4,1	z ₅
4,22	z ₆
4,22	z ₇
5,42	z ₈
6,82	z ₉
4,1	z ₁₀

 $*10^{-4}$

9. táblázat: A paraméterfüggő $\overline{\sum \lambda_j(z_i)}$ - vektor meghatározása

6. A $[BPM]^T$ által ellenőrzött alrendszer meghibásodásának valószínűsége a z függvényében (10. táblázat):

$$Q_E(z_i) = 1 - e^{(-t * \overline{\sum \lambda_j(z_i)})} = 1 - e^{(-100 * \overline{\sum \lambda_j(z_i)})}$$

	z ₁	z ₂	z ₃	z ₄	z ₅	z ₆	z ₇	z ₈	z ₉	z ₁₀
Q _E (z _i)	0,012	0,043	0,012	0,019	0,04	0,041	0,041	0,053	0,066	0,04

10. táblázat: A $[BPM]^T$ által ellenőrzött alrendszer meghibásodásának valószínűsége a z függvényében

7. A [BPM]^T által ellenőrzött alrendszerre vonatkozó mérések megbízhatósága a z függvényében (11. táblázat):

$$D(z_i) = Q_E(z_i) + R_T = 1 - e^{(-100 * \sum \lambda_j(z_i))} + 0,934$$

	z ₁	z ₂	z ₃	z ₄	z ₅	z ₆	z ₇	z ₈	z ₉	z ₁₀
D(z _i)	0,946	0,977	0,946	0,953	0,974	0,975	0,975	0,987	1	0,974

11. táblázat: A [BPM]^T által ellenőrzött alrendszerre vonatkozó mérések megbízhatósága a z függvényében

8. Az üzemképesség ellenőrzésének várható költsége:

(ha C₁ = 100; ρ = 0 és t = 100 óra)

$$K_1(R_T) = \frac{C_1}{R_T} = \frac{100}{0,934} = 107,066 \text{ [k. e.]}$$

ahol [k. e.] - költség egység.

9. Az üzemképesség ellenőrzésének várható költsége az üzemidő függvényében (12. táblázat):

(C₁ = 100; ρ = 0)

$$K_1(t) = \frac{100}{e^{(-6,82 * 10^{-4} * t)}} \text{ [k. e.]}$$

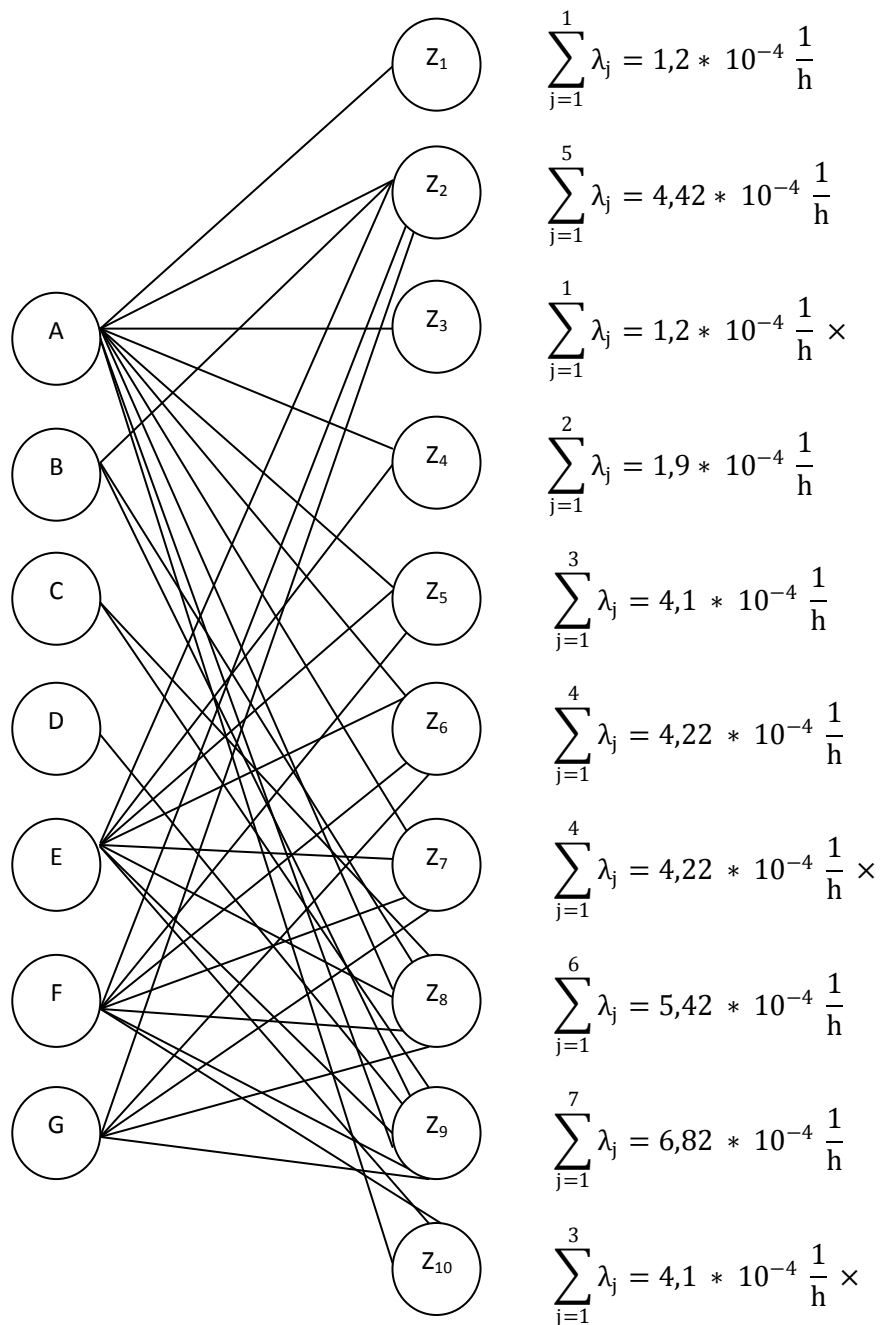
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
K ₁ (t)	100	107,1	114,6	122,7	131,4	140,6	150,6	161,2	172,6	184,7	197,8

12. táblázat: Az üzemképesség ellenőrzésének várható költsége az üzemidő függvényében

10. Az R_T = 0,8 üzemképességi szinthez tartozó üzemidő:

$$t_1 = \frac{\ln 0,8}{\lambda_T} = 327 \text{ óra}$$

11. A $[BPM]^T$ minimalizálása (4. ábra):



4. ábra: A $[BPM]^T$ minimalizálása

Az $\times$ -el jelölt paraméterek a 25. oldalon közölt feltételek betartása után „kihúzzhatók”.

A kapott minimalizált [BPM]^T (13. táblázat):

	A	B	C	D	E	F	G
1	1						
2	1	1			1	1	1
4	1				1		
5	1				1	1	
6	1				1	1	1
8	1	1	1		1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1

13. táblázat: A kapott minimalizált

ahol: $n_m = 7$.

12. A diagnosztikai ellenőrzés költsége:

(az eredeti [BPM]-re vonatkoztatva, ha $D_{M0} = 1$)

$$K_2 = n_k * C_1 * D_{M0} = n_k * C_1 = 10 * 100 = 1000 \text{ [k. e.]}$$

13. A minimalizált [BPM]^T által végrehajtott diagnosztikai ellenőrzés költsége:

$$K_2 = n_m * C_1 = 7 * 100 = 700 \text{ [k. e.]}$$

14. Költségcsökkenés a minimalizált [BPM]^T miatt:

$$\Delta K_2 = (n_k - n_m) * C_1 = 300 \text{ [k. e.]}$$

15. Az üzemképesség és diagnosztikai ellenőrzés összes költsége az üzemidő függvényében - $R_{Tmin} = 0,8$ - (14. táblázat):

a) üzemképesség ellenőrzés költsége:

$$K_1(t) = \frac{C_1}{R_T(t)}; \text{ ahol } t \leq t_1$$

b) diagnosztikai ellenőrzés költsége:

$$K_2 = n_m * C_1 = 700 \text{ [k. e.]}$$

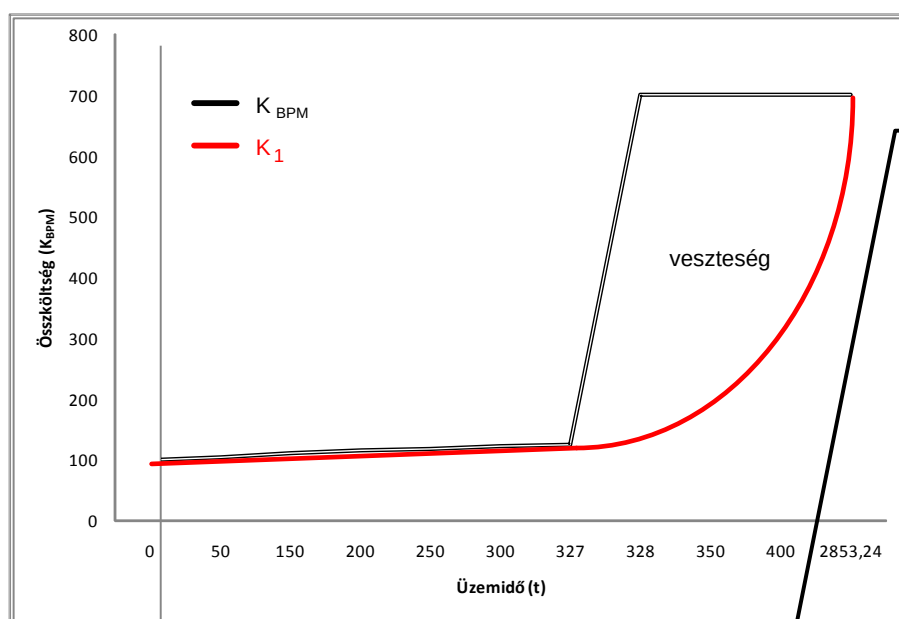
c) az összköltség a vizsgált időtartamra:

$$K_{BPM} = K_1 + K_2 = \frac{C_1}{R_T(t)} + n_m * C_1$$

$\begin{matrix} t \\ K \end{matrix}$	0	50	150	200	250	300	327	328	350	400	...	2853,24
K_1	100	103,5	110,8	114,6	118,6	122,7	125	125,1	127	131,4	...	700
K_2	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	...	700
K_{BPM}	100	103,5	110,8	114,6	118,6	122,7	125	700	700	700	...	700
	$R_T < 0,8$						$R_T=0,8$	$R_T > 0,8$				

14. táblázat: Az üzemképesség és diagnosztikai ellenőrzés költségei az üzemidő függvényében

16. Az összköltség a vizsgált időtartamra (5. ábra):



5. ábra: Az összköltség a vizsgált időtartamra

(Megjegyzés: Az 5. ábrán az üzemidő skálája nem lineáris, mivel csak így látható minden a vizsgálat szempontjából lényeges adat.)

Nyilvánvaló, hogy az összköltség jóval kevesebb abban az esetben, ha az üzemképesség-ellenőrzést addig az üzemóráig folytatjuk, míg az üzemképesség-ellenőrzés költsége egyenlő lesz a diagnosztikai ellenőrzés költségével, azaz

$$\frac{C_1}{R_T} = n_m * C_1$$

ahonnan

$$R_T = \frac{1}{n_m} = e^{(-t * \lambda_T)}$$

ebből

$$t = \frac{\ln n_m}{\lambda_T} = \frac{1,946}{6,82 * 10^{-4} \frac{1}{h}} = 2853,24 \text{ óra}$$

Tehát, ha az üzemképesség-ellenőrzést 2853,24 üzemóra leteltéig végzünk, majd azt követően diagnosztikai ellenőrzéssel folytatjuk, az összköltség bizonyíthatóan kevesebb lesz, mint az előző esetben.

Azonban $t = 2853,24$ óránál az üzemképesség valószínűsége:

$$R_T = e^{(-2853,24 * 6,82 * 10^{-4})} = 0,143$$

amely már igen kis érték, ezért már ennél nagyobb üzemképességi mutatóknál is célszerű diagnosztizálni $n_m * C_1$ költséggel.

V. fejezet [10]

Az elméleti módszerből levonható következtetések

Az alapelvet, miszerint a mérés megbízhatósága mindig maximális kell legyen, a módszer teljesítette, méghozzá úgy, hogy a költségek jelentősen csökkentek. Összehasonlítva a különböző üzemképesség-ellenőrzési és diagnosztikai stratégiákat, a költségmegtakarítás a paraméter-minimalizáció függvényében ugrásszerű emelkedést mutatott.

Magát a módszert kompaktségéből adódóan bármely rendszerre vagy alrendszerre alkalmazhatjuk, tehát kiterjeszthetjük a repülőgép minden alrendszerére. Ha külön-külön vizsgálunk meg minden berendezést, az így kapott alrendszerek egy rendszervázlatba ültethetők, melyet megoldhatunk a repülőgép egészére, bizonyítva, hogy a módszer alkalmazhatósága szinte korlátlan.

S, hogy ezen állítások tényszerű alapokon nyugszanak, miután ismertettem a Mi-8 típusú helikopter AP-34B robotpilóta rendszerét, bemutatom rajta a módszer alkalmazását.

VI. fejezet

Az AP-34B robotpilóta leírása

A robotpilóta funkciói:

„Az AP-34B robotpilótát az egyforgószárnyas helikoptereken alkalmazzák. Rendeltetése a helikopter stabilizálása és a helikopter repülési tulajdonságainak javítása.

Az AP-34B robotpilóta a felszállástól a leszállásig, a repülés teljes időtartama alatt be lehet kapcsolva.

A robotpilóta négy csatornája (irány, bedöntés, bólintás és magasság) a következőket biztosítja:

- a helikopter stabilizálását három tengely körül (irány, bedöntés, bólintás) vízszintes repülésben, süllyedéskor és emelkedéskor, függeszkedéskor és az egyik üzemmódról a másikra való átmenet folyamán;
- a helikopter repülési magasságának stabilizálását vízszintes repülés közben és függeszkedéskor;
- a helikoptervezetési utasítás által megengedett repülési mozdulatok végrehajtását a szokásos karok és pedálok segítségével, bekapcsolt robotpilótánál.

A robotpilóta meghibásodása esetén a repülés biztonsága érdekében a robotpilótától a kormányszervek mind a négy csatornán a teljes járatuk 20%-ára mozdulnak ki, ezenkívül pedig a helikoptervezető a robotpilótával párhuzamosan beavatkozhat a kormányzásba (a bedöntési és a bólintási csatornában).” [11]

A robotpilóta segédberendezéseinek rendeltetése:

a) Az 5E-4 vezérlődoboz rendeltetése (6SZ2.390.007 jelű gyártmány):

- a szögjelek nullázása a robotpilóta bekapcsolása előtt;
- a robotpilóta csatornánkénti bekapcsolása és kikapcsolása, valamint a megfelelő jelzés biztosítása;
- helyesbítések végrehajtása repülés közben a központi kezelőgombok segítségével;

– földi ellenőrzések segítése (a központi kezelőgombok elforgatásával és az „Ellenőrzés” feliratú nyomókapcsoló bekapcsolásával meghatározott jeleket lehet bevinni a robotpilóta csatornáinak bemenetére).

b) Az 5E-3 kormányautomata rendeltetése (6SZ2.399.000 jelű gyártmány):

–a kormányszervek mozgatásához szükséges jelek átalakítása, összegezése és felerősítése;

–a robotpilóta üzemeltetésekor szükséges szabályozások biztosítása.

c) A 1596 kompenzációs adók (6SZ2.553.002. jelű gyártmány):

Rendeltetése a helikopter bedöntési és bólintási szögjeleinek kompenzálása, melyek akkor kerülnek a robotpilótára, amikor a helikoptervezető beavatkozik a kormányzásba.

d) A repülési irány szögsebesség adó (1209K jelű gyártmány):

Rendeltetése a helikopter Y tengely körüli elfordulási (irány szerint) szögsebességével arányos jel kidolgozása és bejuttatása a robotpilótába.

e) A bedöntési szögsebesség adó (1209G jelű gyártmány):

Rendeltetése a helikopter X tengely körüli elfordulási (bedöntés szerint) szögsebességével arányos jel kidolgozása és bejuttatása a robotpilótába.

f) A bólintási szögsebesség adó (1209E jelű gyártmány):

Rendeltetése a helikopter Z tengely körüli elfordulási (bólintás szerint) szögsebességével arányos jel kidolgozása és bejuttatása a robotpilótába.

g) Az erősítő egység (1479V jelű gyártmány):

Rendeltetése a DG-0,5TA motorok működéséhez (forgáshoz) szükséges váltakozó áramú jelek felerősítése a robotpilóta készenléti üzemmódján.

h) A nulla-indikátor (IN-4 jelű gyártmány):

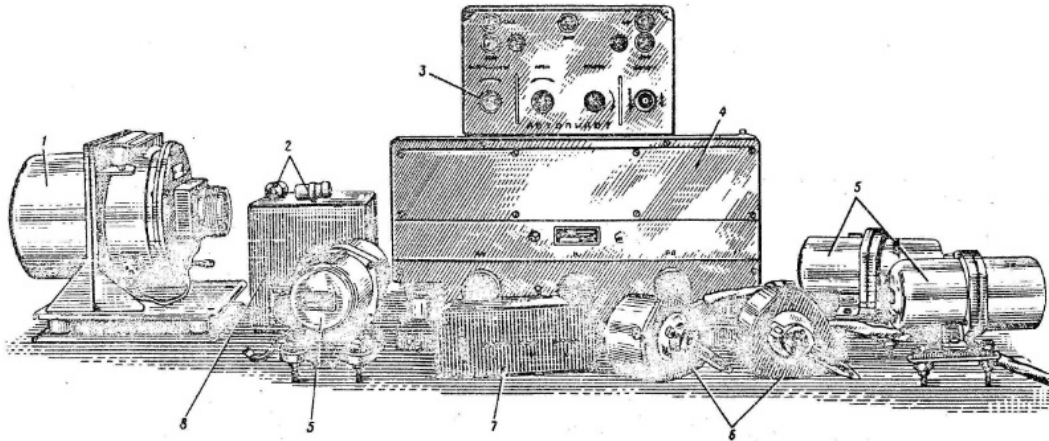
Rendeltetése a kormánygép segédmunkahengere munkarúd helyzetének mutatása minden csatornában, a robotpilóta működése közben.

i) A magassági helyesbítő (KV-11 jelű gyártmány):

Rendeltetése a repülés barometrikus magasságának a megadott magasságtól való eltéréssel arányos jel kidolgozása és bejuttatása a robotpilótába.

j) A kikapcsoló nyomógomb (2. változatú 512K jelű gyártmány):

Rendeltetése az egész robotpilóta kikapcsolása és átkapcsolása készenléti üzemmódra. [12,15]



6. ábra: Az AP-34B robotpilóta készlete

1 - KV-11 magassághelyesbítő; 2 - 512K kikapcsoló nyomógomb; 3 - 5E-4 vezérlő doboz; 4 - 5E vezérlő segédberendezés; 5 - (irány, dőlés, bólintás) szögsebességadó; 6 - 1596 kompenzációs adó; 7 - IN-4 nullindikátor; 8 - 1479B erősítő [15]

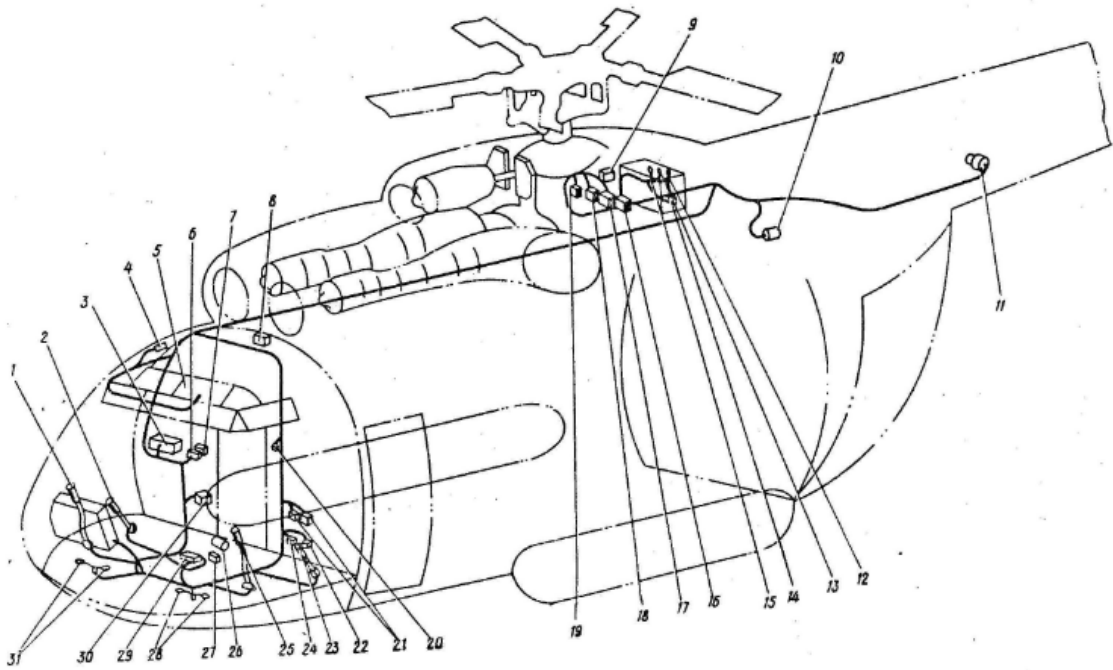
A robotpilótával együttműködő egyéb berendezések:

Az irányszög, bedöntési és bólintási szöghelyzet adók, valamint a végrehajtó szerkezetek (kormánygépek - KAU-30B és RA-60A) nem a robotpilóta, hanem a helikopter készletébe tartoznak. A kormánygépek olyan hidroelektromechanikus erőátviteli szerkezetek, amelyek a botkormányokra ható erők csökkentésére szolgálnak. [13, 16]

Az AP-34B robotpilóta a szelszínes kimenetű szöghelyzet adókkal való együttes működésre van tervezve (a GMK-1AE irányszögrendszerrel és az AGB-3K műhorizonttal). [13]

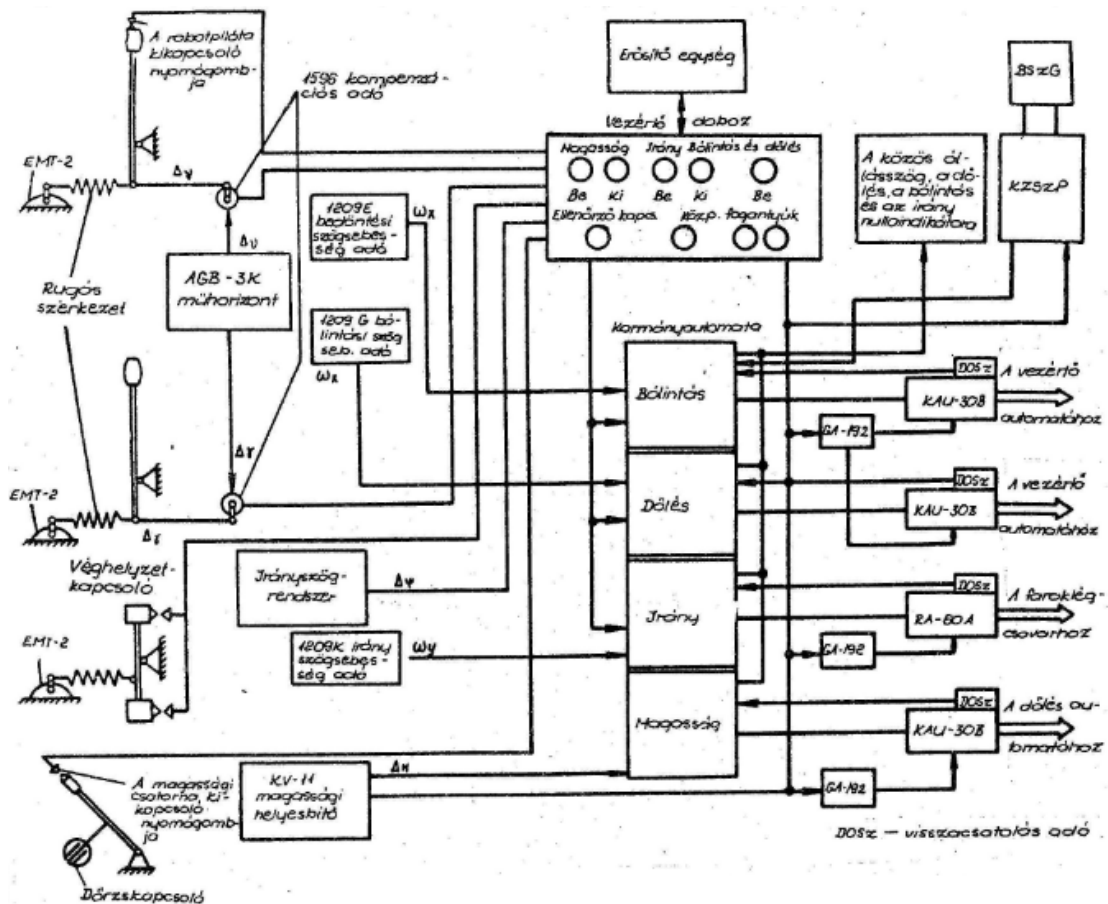
A KZSZP műszer szerinti sebesség helyesbítő adó rendeltetése az SZVSZ-PN jelű levegő-adatrendszer ellenőrző berendezéssel való együttműködés. A sebesség helyesbítő kimenőjele repülés közben egyenesen arányos a helikoptervezető által beállított, vagy előre beprogramozott sebességértéktől való eltéréssel.

A sebesség helyesbítőhöz tartozhat egy készenléti jeladó egység is (BSZG) a készletezéstől függően. A készenléti jeladó rendeltetése a sebesség helyesbítővel való együttműködés, és olyan készenléti jel kiadása, amely jelzi a sebességi helyesbítő rendszereinek helyes működését. [14]



7. ábra: A robotpilóta segédberendezéseinek elhelyezése a helikopteren

1 - a robotpilóta kikapcsoló nyomógombja és az elektromos tengelykapcsolók nyomógombja a jobb oldali botkormányon; 2 - dörzskapcsoló nyomógombja a jobb oldali egyesített gázkaron; 3 - vezérlő segédberendezés; 4 - a robotpilóta elosztódoboza; 5 - elektromos kapcsolótábla; 6, 7 - az irány és a bedöntés szögsebességadói; 8 - EMT-2 bekapcsoló szerelvénylap; 9 - a kormánygépek elosztó doboza; 10 - bólintási szögsebességadó; 11 - KV-11 magassághelyesbítő; 12 - a hossz- és keresztirányú kormányzás GA-192 csapja; 13 - a lábkormány GA-192 csapja; 14 - a közös állásszög GA-192 csapja; 15 - az egyesített gázkar dörzskapcsolójának GA-192 csapja; 16, 17, 18, 19 - KAU-30B kombinált kormánygépek /3 db/ és RA-60B /1 db/; 20 - az útirányú kormányzás EMT-2 elektromágneses fékje; 21 - bólintás és bedöntés elektromágneses fékje; 22 - bedöntés kompenzációs adója; 23 - a dörzskapcsoló nyomógombja a bal oldali egyesített gázkaron; 24 - a bólintás kompenzációs adója; 25 - a robotpilóta kikapcsoló nyomógombja és az elektromos tengelykapcsoló nyomógombja a bal oldali botkormányon; 26 - műszer szerinti sebességbe állító korrektor /KZSzP/; 27 - a készenléti jeladó egység; 28 - mikrokapcsolók a bal oldali helikoptervezető pedáljain; 29 - nullaindikátor és vezérlődoboz; 30 - erősítő egység; 31 - mikrokapcsolók a jobb oldali helikoptervezető pedáljain [15]

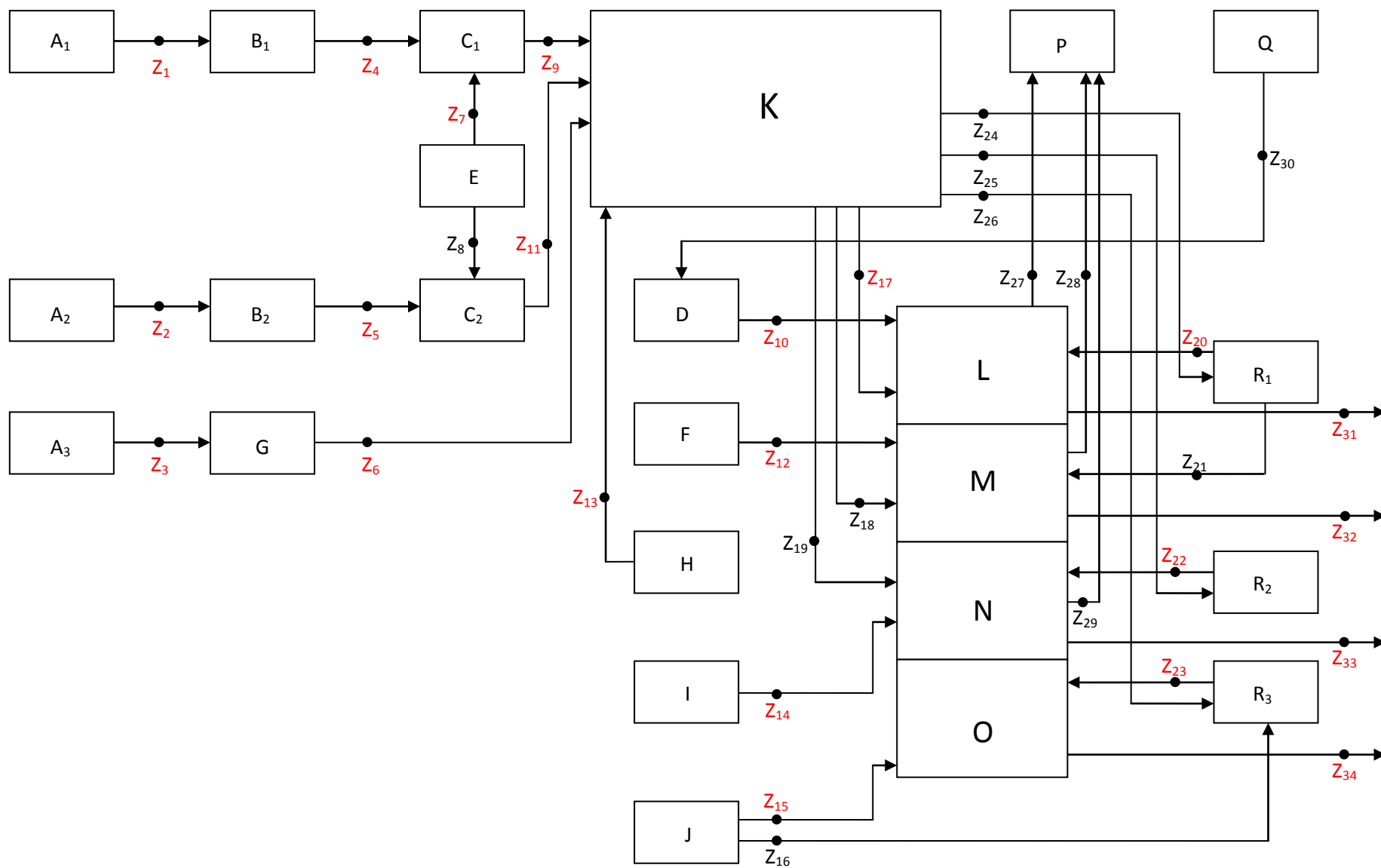


8. ábra: Az AP-34B robotpilóta szerkezeti vázlata [15]

Az AP-34B szerkezeti vázlatának átláthatóságának megkönnyítése érdekében készítettem a 9. ábrát, melyhez a következő megfeleltetéseket alkalmaztam:

- EMT-2 rugós terhelő szerkezet az elektromágneses fékkel → rendre A1, A2, A3
- botkormány → rendre B1, B2
- 1596 kompenzációs adó → rendre C1, C2
- PR1209E bedöntési szögsebességadó → D
- AGB3K műhorizont → E
- PR1209G bálintási szögsebességadó → F
- pedálok mikrokapcsolója → G
- GMK-1AE irányszögrendszer → H
- PR1209K irányszögsebességadó → I
- KV-11 magassági helyesbítő → J

- a 1479B erősítő egység és a 6SZ2.390.007 vezérlődoboz által alkotott egyesített blokk→ K
- az 5E3 kormányautomata bólintási blokkja, a hozzá tartozó KAU-30B kombinált kormánygép és a DOSZ visszacsatoló adó által alkotott egyesített blokk→ L
- az 5E3 kormányautomata dőlési blokkja, a hozzá tartozó KAU-30B kombinált kormánygép és a DOSZ visszacsatoló adó által alkotott egyesített blokk→ M
- az 5E3 kormányautomata irányszög blokkja, a hozzá tartozó RA-60A kombinált kormánygép és a DOSZ visszacsatoló adó által alkotott egyesített blokk→ N
- az 5E3 kormányautomata magassági blokkja, a hozzá tartozó KAU-30B kombinált kormánygép és a DOSZ visszacsatoló adó által alkotott egyesített blokk→ O
- IN-4 közös állásszög, dőlés, bólintás és irány nullindikátor→ P
- a BSZG készenléti jeladóegység és a KZSZP műszer szerinti sebességbeállító korrektor által alkotott egyesített blokk → Q
- GA-192/2 elektromágneses csap→ rendre R1, R2, R3
- (A robotpilóta és a magassági csatorna kikapcsoló nyomógombjától eltekintettem, mivel ezek nem játszanak szerepet a rendszer ellenőrzésében.)



9. ábra: Az AP-34B egyszerűsített blokkvázlata

VII. fejezet [4]

Diagnosztikai hibabehatárolás és költségszámítás az AP-34B robotpilóta rendszerére

A 9. ábra alapján pedig elkészítettem a robotpilóta teljes (15. táblázat) illetve minimalizált (16. táblázat) [BPM]-jét.

	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₄	Z ₁₅	Z ₁₆	Z ₁₇	Z ₁₈	Z ₁₉	Z ₂₀	Z ₂₁	Z ₂₂	Z ₂₃	Z ₂₄	Z ₂₅	Z ₂₆	Z ₂₇	Z ₂₈	Z ₂₉	Z ₃₀	Z ₃₁	Z ₃₂	Z ₃₃	Z ₃₄
A ₁	1			1					1								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
A ₂		1			1						1						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
A ₃			1			1											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
B ₁				1					1								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
B ₂					1						1						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
C ₁									1								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
C ₂											1						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
D										1																	1				1			
E							1	1									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
F												1																1				1		
G						1											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
H													1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
I														1															1				1	
J															1	1						1											1	
K																	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
L																											1				1			
M																											1					1		
N																												1					1	
O																																		1
P																																		
Q																											1			1	1			
R ₁																				1	1						1	1			1	1		
R ₂																					1							1					1	
R ₃																						1												1

15. táblázat: A rendszer [BPM]-je

	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₄	Z ₁₅	Z ₁₇	Z ₂₀	Z ₂₂	Z ₂₃	Z ₃₁	Z ₃₂	Z ₃₃	Z ₃₄
A ₁	1			1				1							1	1	1	1	1	1	1	1
A ₂		1			1				1						1	1	1	1	1	1	1	1
A ₃			1			1									1	1	1	1	1	1	1	1
B ₁				1				1							1	1	1	1	1	1	1	1
B ₂					1				1						1	1	1	1	1	1	1	1
C ₁								1							1	1	1	1	1	1	1	1
C ₂										1					1	1	1	1	1	1	1	1
D									1										1			
E							1								1	1	1	1	1	1	1	1
F											1									1		
G						1									1	1	1	1	1	1	1	1
H												1			1	1	1	1	1	1	1	1
I													1								1	
J														1				1				1
K															1	1	1	1	1	1	1	1
L																			1			
M																				1		
N																					1	
O																						1
P																						
Q																			1			
R ₁																	1		1	1		
R ₂																		1			1	
R ₃																		1				1

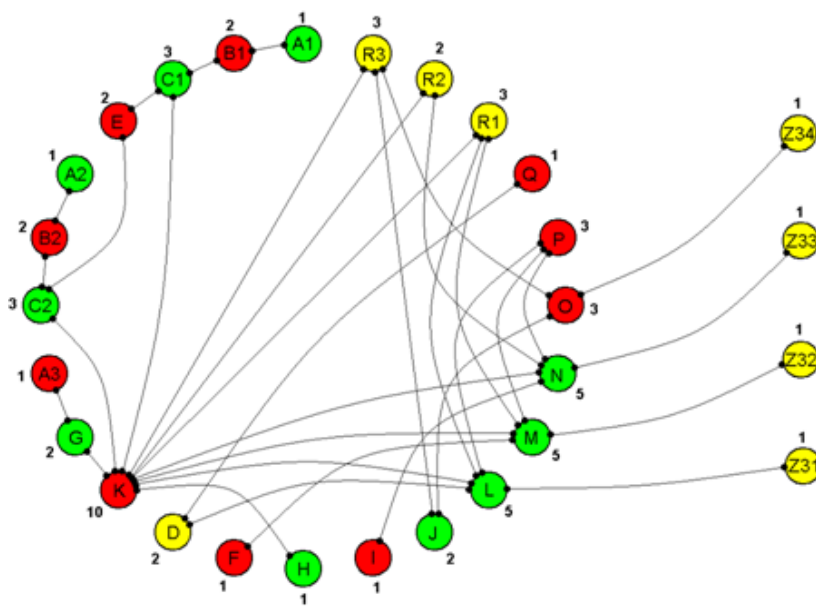
16. táblázat: A rendszer minimalizált [BPM]-je

Az AP-34B blokkvázlatának áttekintése és a vizsgált rendszer teljes meghibásodási intenzitásának kiszámítása a 9. ábra alapján még mindig túlságosan bonyolult, ezért a probléma megoldására a gráfszínezési eljárást alkalmazom.

„A gráfelméletben gráfok színezésének nevezzük, amikor színeket (vagy számokat) rendelünk egy gráf csúcsaihoz, esetleg éleihez. Ez utóbbit a gráf élszínezésének nevezzük, de az élszínezés tekinthető az élgráf csúcsszínezésének is.

Egy gráf jó színezése, csúcsainak olyan színezése, ahol az összekötött csúcsok eltérő színeket kapnak.

A színezés tulajdonképpen egy konfliktusmentes hozzárendelés, melynek lényege a színek összegének a minimalizálása, tehát ez a módszer megfelelően használható az áttekinthetőség és a számolás megkönnyítésére (10. ábra).”[17]

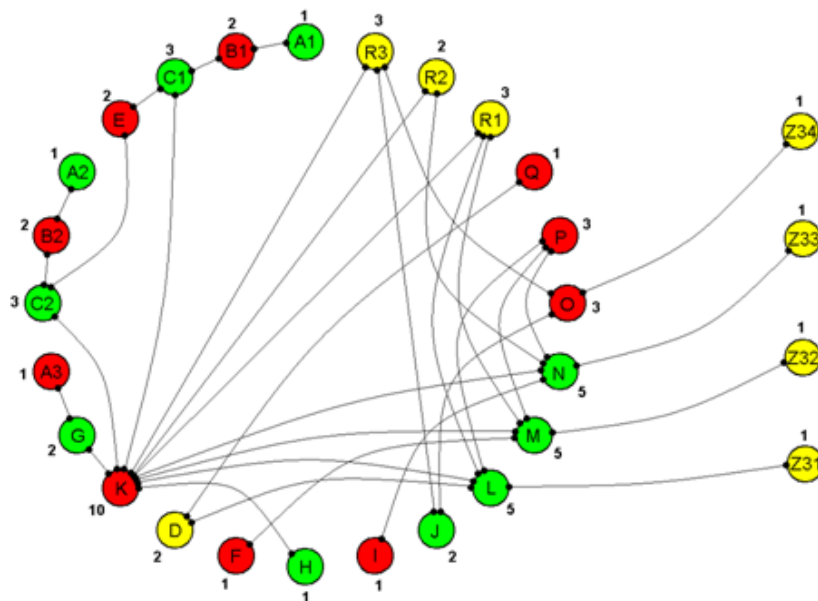


10. ábra: Az AP-34B blokkvázlatából kialakított csúcsszínezésű gráf

A1		1	
B1	1		
C1		1	
E	1		
A2		1	
B2	1		
C2		1	
A3	1		
G		1	
K	1		
D			1
F	1		
H		1	
I	1		
J		1	
L		1	
M		1	
N		1	
O	1		
P	1		
Q	1		
R1			1
R2			1
R3			1

17. táblázat: A különböző színezések során ellenőrzött paraméterek

A táblázatba tehát a gráfcsúcsoknak megfelelő színű oszlopba írtam be az egyeseket úgy, hogy abba a sorba került az egyes, amelyik blokk az aktuális színezésnél ellenőrizve van (17. táblázat).



11. ábra: Az AP-34B blokkvázlatából
kialakított csúcsszínezésű gráf

A1	Q(A1)	R(A1)	Q(A1)
B1	R(B1)	Q(B1)	Q(B1)
C1	Q(C1)	R(C1)	Q(C1)
E	R(E)	Q(E)	Q(E)
A2	Q(A2)	R(A2)	Q(A2)
B2	R(B2)	Q(B2)	Q(B2)
C2	Q(C2)	R(C2)	Q(C2)
A3	R(A3)	Q(A3)	Q(A3)
G	Q(G)	R(G)	Q(G)
K	R(K)	Q(K)	Q(K)
D	Q(D)	Q(D)	R(D)
F	R(F)	Q(F)	Q(F)
H	Q(H)	R(H)	Q(H)
I	R(I)	Q(I)	Q(I)
J	Q(J)	R(J)	Q(J)
L	Q(L)	R(L)	Q(L)
M	Q(M)	R(M)	Q(M)
N	Q(N)	R(N)	Q(N)
O	R(O)	Q(O)	Q(O)
P	R(P)	Q(P)	Q(P)
Q	R(Q)	Q(Q)	Q(Q)
R1	Q(R1)	Q(R1)	R(R1)
R2	Q(R2)	Q(R2)	R(R2)
R3	Q(R3)	Q(R3)	R(R3)
	Π_p	Π_z	Π_s

18. táblázat: A különböző színezések során
ellenőrzött illetve nem ellenőrzött paraméterek

Az előző egyeseket tartalmazó táblázat alapján pedig elkészítettem a 18. táblázatot, melybe az egyesek helyett az üzemképességi, az üres helyekre pedig a meghibásodási valószínűségeket írtam be. Így az oszlopok elemeinek – az ellenőrzött rész üzemképességi R valószínűségének és a nem ellenőrzött rész Q üzemképtelenségi valószínűségének – összeszorzásával megkapjuk a teljes rendszerre vonatkozó mérések megbízhatóságát.

Ezeknek a számításoknak az elvégzéséhez először is szükség van a blokkok meghibásodási intenzitásaira (19. táblázat) illetve egy általunk kiválasztott üzemidő, amelyre a számításokat kívánjuk végezni ($t=500$ óra).

	A1	B1	C1	A2	B2	C2	A3	D	E	F	G	H
λ	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R1	R2	R3
λ	0,001	0,0005	0,0015	0,003	0,003	0,003	0,003	0,00033	0,002	0,001	0,001	0,001

19. táblázat: A különböző blokkok meghibásodási intenzitásai

(Megjegyzés: Mivel a K, L, M, N, O és Q blokkok egyesített blokkok, így azok megbízhatósági intenzitásai – mivel ezek visszacsatolt rendszerek – az őket alkotó blokkok megbízhatósági intenzitásainak összegei.)

Az előző táblázat és a megadott üzemidő alapján tehát már ki lehet számolni a blokkok üzemképességi illetve meghibásodási valószínűségét (20. táblázat).

	A1	B1	C1	A2	B2	C2	A3	D	E	F	G	H
R	0,6065	0,6065	0,6065	0,6065	0,6065	0,6065	0,6065	0,6065	0,6065	0,6065	0,6065	0,6065
Q	0,3935	0,3935	0,3935	0,3935	0,3935	0,3935	0,3935	0,3935	0,3935	0,3935	0,3935	0,3935
	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R1	R2	R3
R	0,6065	0,7788	0,4724	0,2231	0,2231	0,2231	0,2231	0,8479	0,3679	0,6065	0,6065	0,6065
Q	0,3935	0,2212	0,5276	0,7769	0,7769	0,7769	0,7769	0,1521	0,6321	0,3935	0,3935	0,3935

20. táblázat: A különböző blokkok üzemképességi illetve meghibásodási valószínűsége

Ezen értékek alapján a teljes rendszerre vonatkozó mérések megbízhatóságai:

- $\Pi_p = 15,1076 \cdot 10^{-9}$
- $\Pi_z = 1,51 \cdot 10^{-9}$
- $\Pi_s = 7,62 \cdot 10^{-9}$

A költséghatékonyság számítása érdekében a legkisebb Π értéket ($\Pi_z = 1,51 \cdot 10^{-9}$) kell választanunk és arra kell bizonyítanunk, hogy még a legrosszabb esetben is célszerű az általam bemutatott módszert alkalmazni.

$$\text{Ekkor} \quad \lambda_T = \frac{\ln \Pi_z}{-500} = 0,04062 \frac{1}{h};$$

$$\text{tehát} \quad R_T = e^{(-\lambda_T \cdot t)} = 1,51 \cdot 10^{-9};$$

$$Q_T = 1 - R_T = 0,99;$$

$$T_{köz} = \frac{1}{\lambda_T} = 24,6 \text{ h}$$

1. A $[BPM]^T$ által ellenőrzött alrendszer meghibásodásának valószínűsége a z függvényében (21. táblázat):

	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂
Q _E (z _i)	0,3935	0,3935	0,3935	0,6321	0,6321	0,6321	0,3935	0,7769	0,3935	0,7769	0,3935
	Z ₁₃	Z ₁₄	Z ₁₅	Z ₁₇	Z ₂₀	Z ₂₂	Z ₂₃	Z ₃₁	Z ₃₂	Z ₃₃	Z ₃₄
Q _E (z _i)	0,3935	0,3935	0,2212	0,9968	0,9981	0,9981	0,9985	0,9999	0,9997	0,9998	0,9997

21. táblázat: A $[BPM]^T$ által ellenőrzött alrendszer meghibásodásának valószínűsége a z függvényében

2. Az üzemképesség ellenőrzésének várható költsége az üzemidő függvényében - $C_1 = 1$; $\rho = 0$ - (22. táblázat):

$$K_1(t) = \frac{1}{e^{(-0,04062 * t)}} \text{ [k.e.]}$$

$\begin{matrix} t \\ K \end{matrix}$	0	25	50	100	150	200
$K_1(t)$	1	2,761	7,622	58,09	442,748	3374,492
$\begin{matrix} t \\ K \end{matrix}$	250	300	350	400	450	500
$K_1(t)$	25719,38	196025,5	1494048	11387195	86789829	$6,61 * 10^8$

22. táblázat: Az üzemképesség ellenőrzésének várható költsége az üzemidő függvényében

3. Az $R_T = 0,8$ üzemképességi szinthez tartozó üzemidő:

$$t_1 = \frac{\ln 0,8}{\lambda_T} = 5,49 \text{ óra}$$

4. A diagnosztikai ellenőrzés költsége:

(az eredeti [BPM]-re vonatkoztatva, ha $D_{M0} = 1$)

$$K_2 = n_k * C_1 * D_{M0} = n_k * C_1 = 34 * 1 = 34 \text{ [k.e.]}$$

5. A minimalizált [BPM]^T által végrehajtott diagnosztikai ellenőrzés költsége:

$$K_2 = n_m * C_1 = 22 * 100 = 24 \text{ [k.e.]}$$

6. Költségcsökkenés a minimalizált [BPM]^T miatt:

$$\Delta K_2 = (n_k - n_m) * C_1 = 10 \text{ [k.e.]}, \text{ azaz } 29,4 \%$$

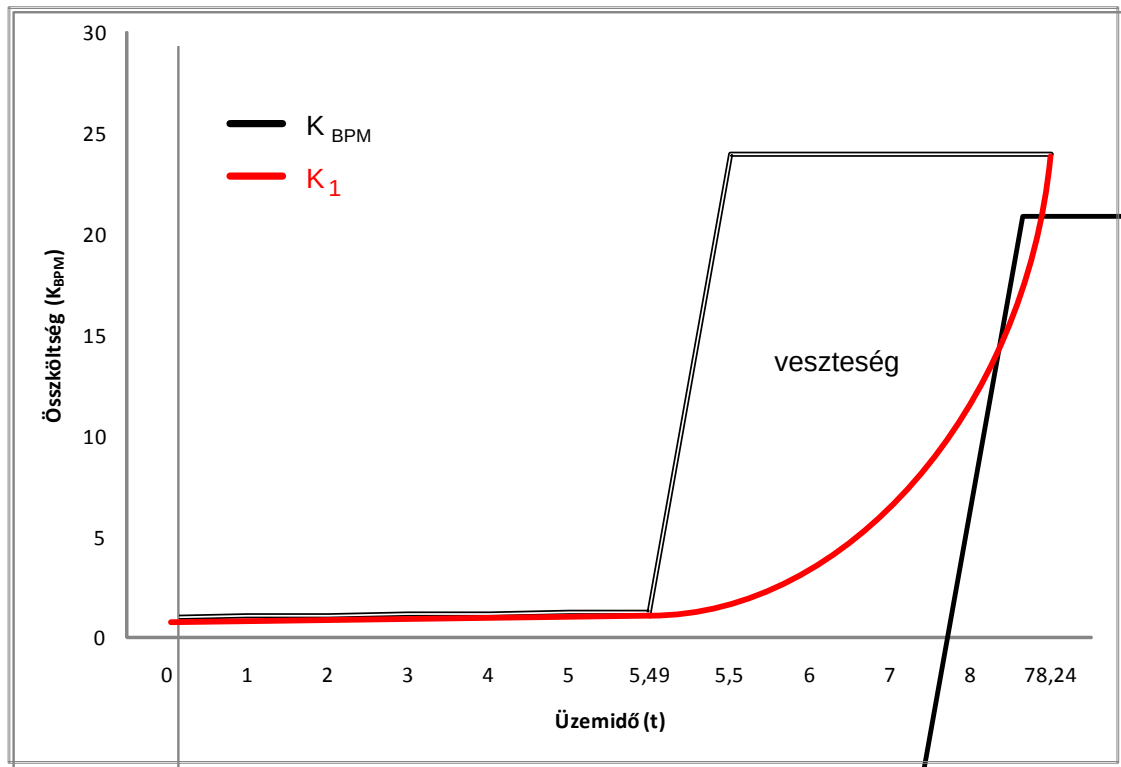
7. Az üzemképesség és diagnosztikai ellenőrzés összköltsége az üzemidő függvényében - $R_{Tmin} = 0,8$ - (23. táblázat):

$$K_{BPM} = K_1 + K_2 = \frac{C_1}{R_T(t)} + n_m * C_1$$

$\begin{matrix} t \\ K \end{matrix}$	0	1	2	3	4	5	5,49	5,5	6	7	8	...	78,24
K_1	1	1,04	1,08	1,13	1,18	1,23	1,25	1,25	1,28	1,33	1,38	...	24
K_2	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	...	24
K_{BPM}	1	1,04	1,08	1,13	1,18	1,23	1,25	24	24	24	24	...	24
	$R_T < 0,8$						$R_T=0,8$	$R_T > 0,8$					

23. táblázat: Az üzemképesség és diagnosztikai ellenőrzés költségei az üzemidő függvényében

8. Az összköltség a vizsgált időtartamra (12. ábra):



12. ábra: Az összköltség a vizsgált időtartamra

(Megjegyzés: Az 12. ábrán az üzemidő skálája nem lineáris, mivel csak így látható minden a vizsgálat szempontjából lényeges adat.)

9. Ha az üzemképesség ellenőrzést $t = \frac{\ln n_m}{\lambda_T} = 78,24$ üzemóra leteltéig végzem az üzemképesség valószínűsége $R_T = 0,042$. Ez már igen kis érték, melyből következik, hogy ennél nagyobb üzemképességi mutatóknál is már diagnosztizálni kell $n_m * C_1$ költséggel.

Mivel vizsgálataim arra a két esetre szorítkoztak mikor az ellenőrzés mértéke 0 vagy 1, kiegészítésképpen fel kell vázolni a megfelelő ellenőrzési mélység kiszámításának módszerét is. Hiszen ha az optimálisnál kevesebb elemet vizsgálunk, nagyobb a valószínűsége a felderítetlen meghibásodásnak, ha viszont többet, akkor felesleges munkát végzünk, ami többletköltséggel jár.

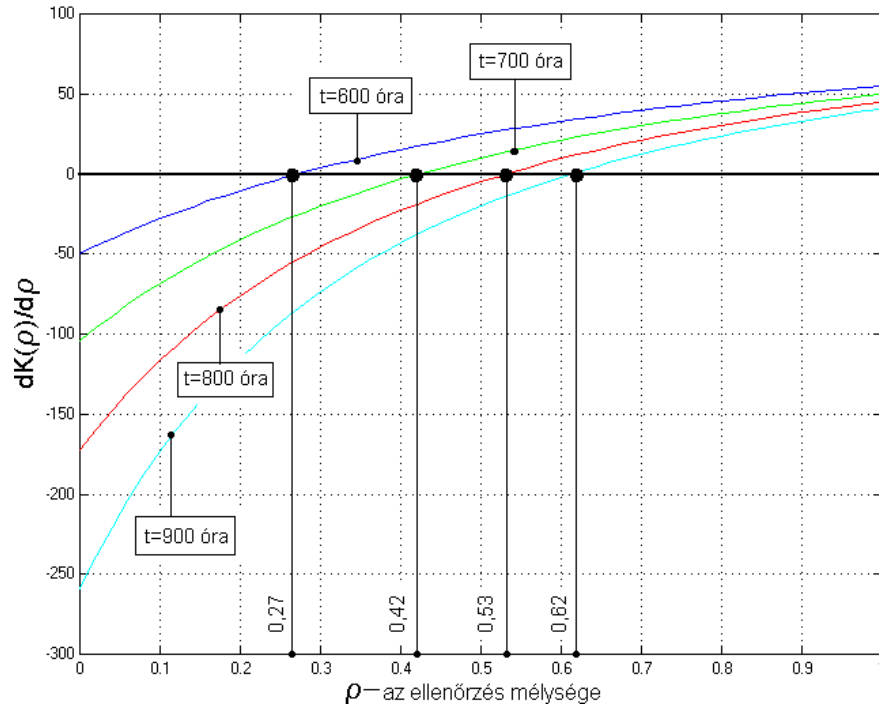
A költség és az ellenőrzési mélység összefüggése:

$$K(\rho) = \frac{C_1}{\rho * Q_T + R_T} + \rho * C_1$$

Ahhoz, hogy a költség minimumát kiszámoljuk, a fenti egyenletet le kell deriválnunk és meg kell keresnünk az új egyenlet gyökeit.

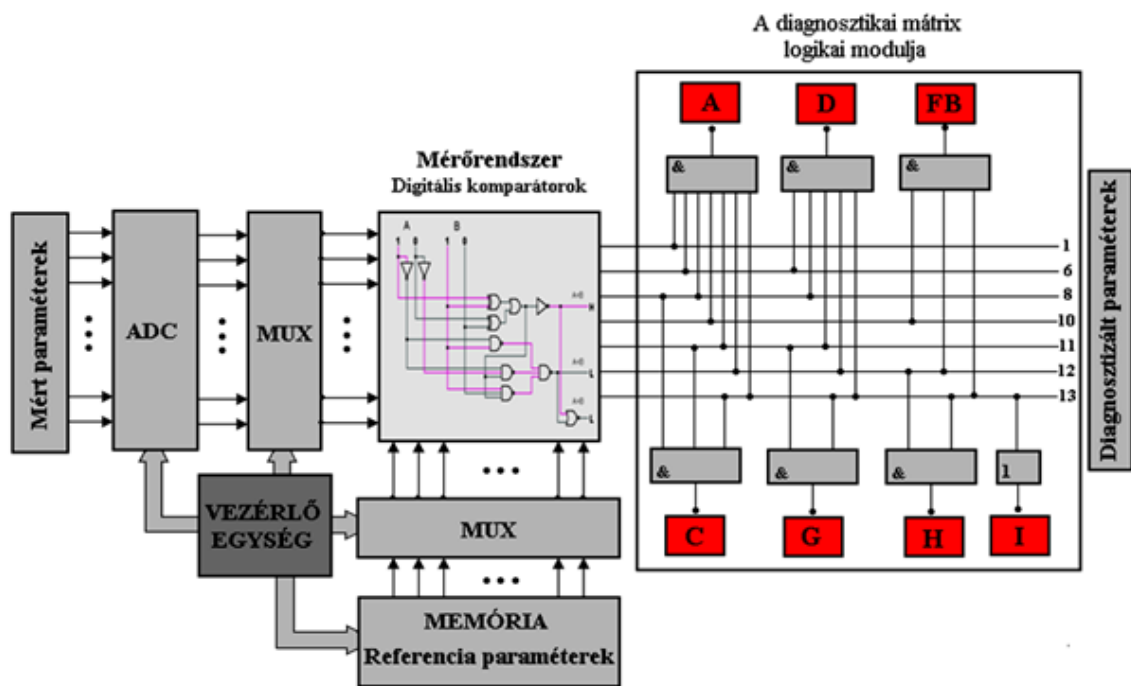
$$\frac{dK(\rho)}{d\rho} = -\frac{Q_T}{(\rho * Q_T + R_T)^2} + C_1$$

Természetesen a gyökök helye az üzemóra függvényében változik, ezt szemlélteti a 13. ábra.



13. ábra: Az ellenőrzés optimális értéke az üzemóra függvényében

Napjainkban természetesen ezeknek a diagnosztikai mátrixoknak a számítása az adott rendszerre komputerizálva van. Amint az az általános fedélzeti diagnosztikai rendszer blokkvázlatán (14. ábra) látható, a mért illetve a referencia paraméterek is digitális formában – a mért paraméterek egy analóg-digitális konverter segítségével – úgynevezett multiplexerre kerülnek, melyekből a paraméterek jelei a digitális komparátorra (különbségképzőre) jutnak. Ennek az egységnek az a feladata, hogy összehasonlítsa a jeleket és ezáltal meghatározza, hogy melyik paraméter hibás. Ezután a diagnosztikai mátrix módszert felhasználva már meghatározható a hibás blokk vagy a hibás blokkok.



14. ábra: Általános fedélzeti diagnosztikai rendszer blokkvázlata

Befejezés

Összességében elmondható, hogy a repülésbiztonság és a költséghatékonyság növelése, valamint a földi személyzet munkájának egyszerűsítése érdekében az általam ismertetett módszer teljesítette a vele szemben támasztott követelményeket.

A paraméter-minimalizáció függvényében a hibabehatárolás költsége jelentősen, közel egyharmadával csökkent úgy, hogy a mérés megbízhatósága továbbra is maximális volt az eljárás során. Mindemellett ha figyelembe vesszük, hogy a számítások ma már elvégeztethetők egy fedélzeti diagnosztikai rendszerrel, beláthatjuk, hogy a módszer nem csak pontos hibabehatárolást biztosít, de meggyorsítja az üzemeltetéssel járó munkálatokat.

Az AP-34B robotpilóta rendszerén való szemléltetés után, pedig nyilvánvalóvá válik, hogy ha külön-külön vizsgálunk meg minden berendezést, az így kapott alrendszerek egy nagyobb rendszervázlatba ültethetők, és a folyamat így alkalmazható a legkisebb alrendszerektől akár a komplett repülőgépig.

Természetesen, ahhoz, hogy ezt a módszert alkalmazhassuk, szükségünk van kontrollcsatlakozókra, melyeknél megmérhetjük a diagnosztikához szükséges paramétereket. Éppen ezért a módszer a régi típusú repülőgépeken ilyen módon egyes rendszereknél korlátozva van, azonban ezeknek a gépeknek az utángyártása során, minimális költséggel beépíthetők ezek a csatlakozók, úgy, hogy ehhez nem kell megváltoztatni az alapstruktúrát.

Azokban az újgenerációs gépekben pedig, ahol olyan konstrukciójú beépített ellenőrző rendszerek vannak, melyek más, adott esetben korszerűbb metodikával oldják meg és jelzik ki a hibát, az ellenőrző rendszerek működésének felülvizsgálására vagy akár a rendszer dublázásaként alkalmazhatják.

Felhasznált irodalom

- [1] www.szrftk.hu/rtk/index.html - Dudás Zoltán: Az információ fontossága a repülésbiztonságban, 2005. évi Repüléstudományi Konferencia, Letöltve: 2012. 02.12.
- [2] Simon László: A repülőgép fedélzeti rádióelektronikai rendszereinek üzemképesség és diagnosztikai ellenőrzése mátrixaritmetikai módszerrel, 1991. évi TDK 3-7.o.
- [3] Rétfalvi Pál: Műszaki diagnosztikai módszerek a karbantartásban , Budapest, 1984, 68.o.
- [4] Műszaki menedzsment és diagnosztika tantárgy órai jegyzet
- [5] Simon László: A repülőgép fedélzeti rádióelektronikai rendszereinek üzemképesség és diagnosztikai ellenőrzése mátrixaritmetikai módszerrel, 1991. évi TDK, 8-17.o.
- [6] Simon László: A repülőgép fedélzeti rádióelektronikai rendszereinek üzemképesség és diagnosztikai ellenőrzése mátrixaritmetikai módszerrel, 1991. évi TDK, 11-13.o.
- [7] Simon László: A repülőgép fedélzeti rádióelektronikai rendszereinek üzemképesség és diagnosztikai ellenőrzése mátrixaritmetikai módszerrel, 1991. évi TDK, 16-17.o.
- [8] Simon László: A repülőgép fedélzeti rádióelektronikai rendszereinek üzemképesség és diagnosztikai ellenőrzése mátrixaritmetikai módszerrel, 1991. évi TDK, 18-23.o.
- [9] Simon László: A repülőgép fedélzeti rádióelektronikai rendszereinek üzemképesség és diagnosztikai ellenőrzése mátrixaritmetikai módszerrel, 1991. évi TDK, 23-36.o.
- [10] Simon László: A repülőgép fedélzeti rádióelektronikai rendszereinek üzemképesség és diagnosztikai ellenőrzése mátrixaritmetikai módszerrel, 1991. évi TDK, 37.o
- [11] Re/642 Az AP-34B robotpilóta műszaki leírás és üzemeltetési utasítás, A Honvédelmi Minisztérium kiadása, 1973, 9.o.
- [12] Re/642 Az AP-34B robotpilóta műszaki leírás és üzemeltetési utasítás, A Honvédelmi Minisztérium kiadása, 1973, 34.o.

- [13] Re/642 Az AP-34B robotpilóta műszaki leírás és üzemeltetési utasítás, A Honvédelmi Minisztérium kiadása, 1973, 10.o.
- [14] Re/642 Az AP-34B robotpilóta műszaki leírás és üzemeltetési utasítás, A Honvédelmi Minisztérium kiadása, 1973, 115.o.
- [15] Re/998 A Mi-8 helikopter üzemeltetési és műszaki kiszolgálási szakutasítása III. könyv 1., 2., 3. rész, A Honvédelmi Minisztérium kiadványa, 1982, 344-347.o.
- [16] Re/1244 A helikopterek fedélzeti berendezései és rendszerei IV. könyv 1. rész, a Honvédelmi Minisztérium kiadványa, 1985, 300.o.
- [17] http://hu.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%A1fok_sz%C3%ADnez%C3%A9se, A gráfok színezése, Letöltve: 2012.03.15.